



# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 18 SEP. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis. rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



REMISE DES PIÈCES DATE LIEU N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI		Réservé à l'INPI <b>12 AOUT 2002</b> <b>75 INPI PARIS</b> <b>0210209</b> <b>12 AOUT 2002</b>		<b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  <b>Cabinet REGIMBEAU</b> <b>20, rue de Chazelles</b> <b>75847 PARIS CEDEX 17</b> <b>FRANCE</b>	
<b>Vos références pour ce dossier</b> <i>(facultatif)</i>		239571 D19939 JC			
<b>C</b> nfirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		Cochez l'une des 4 cases suivantes			
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>			
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>			
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>			
Demande de brevet initiale		N°		Date	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N°		Date	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>		Date	
Demande de brevet initiale		N°		Date	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b> PROCÉDE D'ELABORATION DE COUCHE MINCE COMPRENANT UNE ETAPE DE CORRECTION D'ÉPAISSEUR PAR OXYDATION SACRIFICIELLE, ET MACHINE ASSOCIÉE.					
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b> OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° Pays ou organisation Date N° <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique			
Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF		S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES SOCIÉTÉ ANONYME 384711909			
Domicile ou siège		Parc Technologique des Fontaines - Chemin des Franques, 38190 BERNIN			
Nationalité N° de téléphone <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		FRANCE Française N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, c. chez la case et utilisez l'imprimé «Suite»					

REMISE DES PIÈCES DATE <b>12 AOUT 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0210209</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	DB 540 W / 010801
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		239571 JC	
<b>6 MANDATAIRE</b> <i>(only a lien)</i> Nom Prénom Cabinet ou Société N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel Adresse Rue Code postal et ville Pays N° de téléphone <i>(facultatif)</i> N° de télécopie <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		Cabinet REGIMBEAU 20, rue de Chazelles 75847 PARIS CEDEX 17 01 44 29 35 00 01 44 29 35 99 info@regimbeau.fr	
<b>7 INVENTEUR (S)</b> Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)	
<b>3 RAPPORT DE RECHERCHE</b> Établissement immédiat ou établissement différé		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input checked="" type="checkbox"/> Établissement immédiat <input type="checkbox"/> Établissement différé	
Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes			
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b> L. MARIELLO	

La présente invention concerne la fabrication de composants semi-conducteurs pour la micro-électronique et/ou l'optoélectronique. Plus précisément, l'invention intervient dans la fabrication et/ou la préparation de couches minces destinées à la réalisation de tels composants, en opérant une  
5 mesure d'épaisseur de ces couches, suivie d'une intervention de correction d'épaisseur.

De telles couches minces sont réalisées au terme d'une chaîne de fabrication comportant plusieurs étapes successives.

Plusieurs étapes successives.

10 Le procédé Smart-Cut<sup>®</sup> est un exemple d'un tel procédé de fabrication.

On trouvera une description générale de ce procédé dans l'ouvrage « Silicon-On-Insulator Technology : Materials to VLSI, 2<sup>nd</sup> Edition » de Jean-Pierre Colinge (voir pages 50 et 51 en particulier).

Un tel procédé permet d'obtenir des couches et des films minces de  
15 matériau semi-conducteur. Une variante de ce procédé comprend les étapes suivantes :

Lors d'une première étape, on oxyde au moins une face d'une plaque de matériau semi-conducteur.

Lors d'une deuxième étape, on crée par implantation ionique, une zone  
20 de fragilisation sous une face de la plaque.

Lors d'une troisième étape, dite de collage, cette face de la plaque est mise en contact intime avec un substrat support et rendue solidaire de celui-ci.

Lors d'une quatrième étape, l'ensemble constitué par la plaque et le substrat support est soumis à un traitement apte à créer un détachement de la  
25 plaque au niveau de la zone de fragilisation.

Lors d'une cinquième étape, des techniques de finition sur la face d'implant de la partie comprenant le substrat sont mises en œuvre pour permettre notamment de diminuer les défauts engendrés par le détachement, et/ou retrouver un niveau de rugosité suffisamment faible.

30 A titre d'illustration, des exemples de techniques de finition peuvent être trouvés dans les documents FR 2 797 713 qui enseigne une technique mettant

en œuvre un recuit, et FR 2 797 714 qui enseigne une technique mettant en œuvre des étapes de polissage et d'oxydation.

Le procédé Smart-Cut® permet ainsi de réaliser des structures multicouches de type SOI, acronyme anglo-saxon de Silicon On Insulator, en gardant sur la face d'implant de la plaque une couche d'oxyde, créée lors de la première étape, afin d'intercaler, lors de l'étape de collage, la couche d'oxyde entre le substrat support et la plaque.

Les étapes 101 à 105 de fabrication d'une structure SOI selon un mode de réalisation du procédé Smart-Cut® sont ainsi illustrées sur la figure 1. Elles seront décrites ci-dessous.

On précise qu'il existe également d'autres types de procédés permettant de fabriquer des structures SOI.

Quelque soit le type de procédé mis en œuvre, chaque nouvelle étape incluse dans une chaîne de fabrication demande nécessairement des manipulations et/ou des interventions sur ces couches, et implique donc des risques supplémentaires de défauts de fabrication.

Un type de défauts concerne les écarts d'épaisseurs d'une couche par rapport aux spécifications d'épaisseurs requises par le fabricant. Ces défauts peuvent être à l'origine de rejets de couches, du fait que l'épaisseur de la couche ne correspond pas aux spécifications d'épaisseur, notamment en termes :

- d'épaisseur moyenne de la couche,
- et/ou d'uniformité de l'épaisseur à la surface d'une même couche (uniformité dite « within wafer » selon la terminologie anglo-saxonne, que l'on traduira dans ce texte par « uniformité intracouche »),

On précise en outre que les couches sont habituellement fabriquées par lots, et qu'il est également souhaité de respecter des spécifications d'uniformité d'épaisseur entre les différentes couches d'un même lot (uniformité « wafer to wafer » selon la terminologie anglo-saxonne, que l'on traduira dans ce texte par « uniformité intercouches »).



Les lots peuvent correspondre à des couches ayant subi les mêmes étapes de procédé de fabrication, dans les mêmes conditions (mêmes recuits, etc.).

5 Ils peuvent également correspondre à un groupe de couches défini de manière quelconque, par exemple correspondre à la production d'un intervalle de temps donné (une journée ou autre).

En pratique, il est souvent souhaité d'aboutir en fin de procédé à une même épaisseur moyenne pour toutes les couches du lot (avec une tolérance donnée – typiquement cette tolérance est de quelques pour cent).

10 Et on recherche également généralement une uniformité « lot à lot » entre les couches de différents lots, dans le cas où les spécifications d'épaisseur finale (représentées par exemple par une valeur d'épaisseur moyenne) sont les mêmes pour les couches de différents lots.

Des étapes de contrôle d'épaisseur mettant en œuvre des techniques de  
15 mesures d'épaisseur des couches minces sont donc habituellement associées à certaines étapes de l'élaboration des couches, tout au long de la chaîne de fabrication.

Ces étapes de contrôle impliquent le rejet des couches qui présentent des défauts d'épaisseur préjudiciables au bon fonctionnement des futurs  
20 composants électroniques.

Reprenant l'exemple des principales étapes du procédé de type Smart-Cut® d'élaboration de SOI illustré sur la figure 1, les étapes de contrôle d'épaisseur sont schématisées par des losanges 107 et sont situées en aval de chaque étape du procédé d'élaboration de SOI : après l'étape 101 d'oxydation,  
25 après l'étape 102 d'implantation ionique, après l'étape 103 de collage, après l'étape 104 de traitement thermique, après l'étape 105 de finition.

On précise que la représentation de la figure 1 est une version « maximaliste » de la mise en œuvre de ces étapes de contrôle d'épaisseur 107. Dans la réalité, ces étapes de contrôle d'épaisseur ne sont pas associées  
30 à chaque étape du procédé d'élaboration de SOI, mais à certaines de ces étapes seulement.

Si l'épaisseur mesurée d'une couche est satisfaisante, la couche passe à l'étape suivante. Sinon, la couche est rejetée en poubelle 108.

5 Ce type de procédé classique, incluant de multiples étapes de contrôle d'épaisseur des couches, conduit à des pertes de matériaux, ainsi qu'à un ralentissement conséquent de la chaîne de fabrication dû à la nécessité de contrôler très finement les étapes de fabrication qui affectent l'épaisseur des couches.

10 Une solution pour réduire ces inconvénients consisterait à supprimer ces contrôles d'épaisseur successifs ou à assouplir les contraintes qui leur sont liées, en instaurant en fin de fabrication une étape de correction d'épaisseur.

Il serait alors possible de relâcher les contraintes associées aux différentes étapes du processus de fabrication des couches, ce qui simplifierait et accélérerait le déroulement de ce processus.

15 Dans cette optique, il est important de mettre en oeuvre des procédés et dispositifs de correction d'épaisseur efficaces et précis, et ce d'autant plus que les épaisseurs des couches minces se réduisent année après année avec les perfectionnements que connaissent les techniques d'élaboration des couches.

20 Une première tentative pour répondre à ce besoin a été proposée par le procédé nommé PACE, acronyme des termes anglo-saxons Plasma Assisted Chemical Etching, présenté dans le document « Semiconductor wafer bonding : science and technology » de Q.-Y. Tong et U.Gösele.

Les étapes principales du procédé PACE sont schématiquement les suivantes :

25 Après acquisition des mesures d'épaisseurs d'une couche mince au moyen d'une technique optique de réflectivité, une unité de commande déduit, à partir de ces mesures reçues, des spécifications de correction d'épaisseur de la couche.

30 Le dispositif de correction d'épaisseur reçoit les spécifications de correction d'épaisseur de l'unité de commande et corrige alors les défauts d'épaisseur de la couche suivant ces spécifications.

Le dispositif de correction d'épaisseur mis en oeuvre par le procédé PACE utilise la technique de gravure chimique assistée par plasma. Cette technique est basée sur l'emploi d'une technique de gravure chimique localisée de la couche.

5 Un outil appliquant ces techniques est ainsi apte à retirer de la matière à la couche.

L'outil retirant la matière sur une superficie bien inférieure à celle de la couche, la correction d'épaisseur s'effectue donc localement sur la couche.

L'outil étant également apte à se déplacer au-dessus de la couche, il  
10 parcourt ainsi toute ou partie de la couche suivant un chemin comprenant plusieurs séquences, chacune durant un certain temps.

Ce sont les spécifications de correction d'épaisseur générées préalablement par l'unité de commande qui ont défini les séquences du chemin et les temps de gravure. Ces spécifications sont directement liées à la  
15 cartographie d'épaisseur déduite des mesures de la couche.

Ce procédé de réduction d'épaisseur vise ainsi à appliquer un traitement adapté aux caractéristiques d'épaisseur de chaque couche fabriquée, et à effectuer des réparations individualisées sur chaque couche.

Le procédé PACE concernant le dispositif de correction d'épaisseur  
20 utilisant la technique de gravure chimique assistée par plasma présente cependant plusieurs inconvénients.

Premièrement, les conditions de mise en oeuvre d'une telle technique sont très contraignantes.

La chambre de réaction dans laquelle est mise en oeuvre la gravure est  
25 en effet salie par les opérations de gravure, et nécessite donc un entretien fréquent.

La nécessité d'établir un vide dans la chambre de réaction est par ailleurs une contrainte supplémentaire au niveau de la mise en oeuvre d'un tel procédé, car un vide poussé nécessite des moyens de pompage lourds et  
30 coûteux, des moyens d'étanchéité importants et des moyens de surveillance performants.

Deuxièmement, le principe même de déplacer sur la couche l'outil permettant de retirer de la matière, le long d'un chemin associé à des retraits de matière locaux par gravure, conduit à un traitement de la couche long et laborieux.

- 5 L'insertion d'une étape de traitement des couches par un tel procédé de gravure est donc mal adaptée à une production massive de couches minces, car la cadence d'entrée et de sortie des couches à travers la chambre de gravure en serait ralentie.

- 10 Troisièmement, la technologie de gravure chimique assistée par plasma elle-même comporte des inconvénients, dont certains sont encore amplifiés pour le traitement de couches très minces.

Et comme on l'a vu, on cherche à fabriquer des couches de plus en plus minces, de sorte qu'il est de plus en plus important de contrôler finement cette quantité de matière retirée.

- 15 En particulier, l'exposition d'une couche mince à un plasma dans un environnement très réactif peut conduire à la création de défauts dans la structure cristalline et à des accumulations de charges au sein de la couche, d'autant plus néfastes que la couche est mince.

- 20 Cette dernière limitation mène en pratique à des applications de PACE limitées aux couches supérieures à 1  $\mu\text{m}$  d'épaisseur moyenne.

- En effet, la résolution de la technique PACE se trouve en pratique limitée à une précision sur l'épaisseur finale obtenue de l'ordre de quelques centaines d'Angströms. Cette précision permet ainsi de produire des couches de l'épaisseur de l'ordre de 1  $\mu\text{m}$ , avec une précision de l'ordre de quelques pour cent.

- 25 Mais dans le cas de couches très minces, d'une épaisseur désirée pouvant être par exemple de l'ordre 1000 Å, une tolérance de quelques pour cent sur l'épaisseur finale correspond à une résolution de quelques dizaines d'Angströms, ce qui n'est pas envisageable avec la technique PACE mentionnée ci-dessus.

- 30 Cette technique est donc inadaptée aux corrections d'épaisseur des

couches minces dont l'épaisseur moyenne est inférieure à une valeur de 1  $\mu\text{m}$ .

On ajoute enfin qu'il est très délicat de contrôler les caractéristiques du plasma mis en œuvre dans PACE de manière à traiter des substrats de grandes dimensions.

5 Il apparaît ainsi que la tentative de solution correspondant au procédé PACE comporte de nombreuses limitations.

On connaît également une deuxième tentative pour répondre aux besoins de mise en œuvre de procédés et de dispositifs de correction d'épaisseur efficaces et précis.

10 On trouvera dans le document WO 01/83238 au nom de EPION CORPORATION un exemple de divulgation de ce deuxième type de technique.

Mais ici encore, certaines des limitations mentionnées ci-dessus à propos de la technique PACE demeurent.

15 En particulier, la technique proposée par EPION est également lourde et complexe à mettre en œuvre.

Il est en effet nécessaire dans ce cas encore d'établir un vide dans la chambre de réaction.

20 Et une autre limitation importante à ce deuxième type de technique est qu'ici encore on effectue séquentiellement le traitement individualisé de différentes zones d'une couche, ce qui aboutit à des temps de traitement longs.

Et un inconvénient supplémentaire lié à ce deuxième type de technique est qu'elle ne permet pas d'atteindre des niveaux de rugosité suffisamment faibles pour les applications envisagées, en particulier pour la fabrication de SOI.

25 On verra qu'en contraste l'invention propose une technique permettant de traiter simultanément la surface d'une couche de manière différenciée selon les endroits de la couche que l'on considère, et ce en aboutissant à une rugosité extrêmement faible, équivalente au niveau de rugosité que l'on peut obtenir avec une opération de polissage.

30 Par « simultanément », on entend le fait de traiter au même moment les différentes zones de la surface de la couche.



Ainsi, les différentes tentatives mentionnées ci-dessus comportent des limitations.

La présente invention a pour but de s'affranchir de ces limitations.

Afin d'atteindre ce but, l'invention propose selon un premier aspect un  
5 procédé d'élaboration de couche mince de matériau semi-conducteur  
comprenant une étape de correction d'épaisseur de couche, ladite étape de  
correction d'épaisseur de couche comportant elle-même les opérations  
suivantes :

- acquisition de profil de mesure d'épaisseur de couche,
  - 10 • déduction de spécifications de correction d'épaisseur à partir du profil de  
mesure d'épaisseur,
  - correction d'épaisseur de couche selon lesdites spécifications,
- caractérisé en ce que la correction d'épaisseur met en œuvre une oxydation  
sacrificielle.

15 Des aspects préférés, mais non limitatifs du procédé selon l'invention  
sont les suivants :

- des spécifications de correction d'épaisseur correspondent à une  
correction d'épaisseur uniforme sur la surface de la couche à élaborer,
- des spécifications de correction d'épaisseur correspondent à une  
20 correction d'épaisseur différenciée sur la surface de la couche à  
élaborer,
- des spécifications de correction d'épaisseur correspondent à une  
correction d'épaisseur uniforme sur la surface de la couche à élaborer,  
combinée à une correction d'épaisseur différenciée sur la surface de la  
25 couche à élaborer,
- les spécifications de correction d'épaisseur sont établies de manière à  
produire une couche dont l'épaisseur est la plus constante possible sur  
toute la couche,
- lors de la correction d'épaisseur on traite simultanément la surface de la  
30 couche,
- l'élaboration des couches se fait par lots de couches,

- la correction d'épaisseur des couches se fait par lots de couches
- les couches d'un lot sont organisées en une succession de couches, et on mesure l'épaisseur d'une couche du lot pendant qu'on corrige l'épaisseur de la couche précédente du même lot,
- 5     • on définit pour toutes les couches du lot un profil unique d'épaisseur cible et les spécifications respectives de correction d'épaisseur de chaque couche du lot sont individualisées de manière à ce que chaque couche du lot ait, une fois la correction d'épaisseur effectuée, un profil d'épaisseur final de couche proche du profil d'épaisseur cible,
- 10    • on définit pour toutes les couches du lot un profil unique d'épaisseur cible, et les spécifications de correction d'épaisseur de toutes les couches du lot sont les mêmes, en fonction d'au moins une mesure d'épaisseur effectuée sur une couche du lot,
- 15    • le profil d'épaisseur cible consiste en une valeur cible, cette valeur cible désignant une épaisseur cible unique à atteindre sur toute la surface de chacune des couches du lot,
- l'opération d'acquisition de mesure se fait par un ellipsomètre,
- l'opération d'acquisition de mesure se fait par un réflectomètre,
- l'oxydation sacrificielle est mise en œuvre par une technique d'oxydation thermique,
- 20    • l'oxydation sacrificielle est mise en œuvre par une technique d'oxydation thermique rapide,
- lors de l'oxydation sacrificielle on met en œuvre des moyens pour oxyder sélectivement les différents endroits de la couche,
- 25    • lors de l'oxydation sacrificielle on met en œuvre un dispositif comprenant une pluralité de lampes de chauffage, situées en regard de différents endroits de la couche et pouvant être alimentées sélectivement de manière à ajuster localement la température d'oxydation de la couche,
- le procédé met également en œuvre les étapes principales d'un procédé de type Smart-Cut®.
- 30



Selon un deuxième aspect, l'invention propose également l'application d'un procédé tel qu'évoqué ci-dessus, pour la fabrication d'une couche de matériau semi-conducteur d'une structure multicouche.

Des aspects préférés, mais non limitatifs d'une telle application sont les suivants :

- ladite couche est en silicium,
- la structure multicouche est un SOI.

Enfin, l'invention propose selon un troisième aspect une machine de mise en œuvre d'un procédé selon l'un des aspects ci-dessus, caractérisée en ce que la machine comprend un moyen d'acquisition de mesure de profil d'épaisseur de couche, un moyen de correction d'épaisseur de couche par oxydation sacrificielle .

Des aspects préférés, mais non limitatifs d'une telle machine sont les suivants :

- la machine comprend également une unité de traitement reliée aux moyens d'acquisition de mesure et aux moyens de correction d'épaisseur,
- lesdits moyens d'acquisition de mesure de profil d'épaisseur, lesdits moyens de correction d'épaisseur et ladite unité de traitement sont intégrés à la machine,
- le moyen d'acquisition de mesure d'épaisseur met en œuvre un réflectomètre,
- le moyen d'acquisition de mesure d'épaisseur est de type ACUMAP™,
- le moyen de correction d'épaisseur est apte à traiter simultanément l'épaisseur d'au moins une couche, de manière sélective,
- le moyen de correction d'épaisseur est adapté pour corriger l'épaisseur d'une seule couche à la fois,
- le moyen de correction d'épaisseur est de type RTP XE Centura™,
- le moyen de correction d'épaisseur permet de corriger l'épaisseur de lots entiers de couches,
- le moyen de correction d'épaisseur est un four à tube.



Comme on va le voir, le procédé selon l'invention permet en particulier d'atteindre les objectifs suivants :

- Augmenter la productivité de la chaîne d'élaboration de couches minces, notamment en permettant d'éliminer les opérations intermédiaires de contrôle d'épaisseur et en traitant chaque couche en une seule opération,
- Assouplir les contraintes liées aux étapes de fabrication de couches, ce qui a également pour effet d'augmenter le rendement,
- Diminuer par la même occasion les rejets,
- Améliorer la qualité des couches minces en atteignant des valeurs en épaisseur plus proches des spécifications requises sans pour autant nuire à la qualité cristalline de la couche,
- Corriger les défauts d'épaisseurs de couche pour des couches présentant des épaisseurs moyennes inférieures à  $1\text{ }\mu\text{m}$ , pouvant être par exemple de l'ordre de  $0,1\text{ }\mu\text{m}$ , voire de l'ordre de  $0,01\text{ }\mu\text{m}$ .

D'autres aspects, buts et avantages, de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels, outre la figure 1 citée en introduction et qui représente schématiquement les étapes d'un procédé d'élaboration de structures SOI selon l'état de la technique antérieure à la présente invention :

- La figure 2 représente schématiquement les étapes d'une variante selon la présente invention d'un procédé d'élaboration de structures SOI de type Smart-Cut<sup>®</sup>,

- La figure 3 est un schéma illustrant un exemple d'association établie entre deux types de paramètres qui peuvent être mémorisés pour mettre en œuvre l'invention, lors de l'opération de déduction des spécifications de correction d'épaisseur à partir de l'opération de mesure d'une couche mince,

- La figure 4 est un schéma illustrant l'exploitation faite de l'association mentionnée ci-dessus à propos de la figure 3,

- La figure 5 représente schématiquement les étapes d'une oxydation sacrificielle d'une couche mince sur substrat,



- La figure 6 représente une vue en perspective d'un dispositif RTO (pour l'acronyme anglo-saxon Rapid Thermal Oxidation - oxydation thermique rapide), mis en œuvre dans l'invention pour la correction d'épaisseur,

5 - La figure 7 représente schématiquement une vue en coupe transversale d'une chambre d'oxydation thermique d'un dispositif RTO, à pression atmosphérique.

- La figure 8 représente schématiquement une vue en coupe transversale d'une chambre d'oxydation thermique d'un dispositif RTO, à pression réduite,

10 - La figure 9 représente, dans un dispositif RTO, des répartitions schématiques de lampes et de sondes entourant des couches minces pouvant avoir des diamètres différents,

- La figure 10 représente un schéma de principe du fonctionnement d'un dispositif RTO,

15 - La figure 11 représente la progression dans le temps d'épaisseurs de couches d'oxyde de silicium formées par RTO pour différentes concentrations de  $H_2$  du gaz oxydant, à pressions réduites et pour une température d'oxydation fixée à 1050°C,

20 - La figure 12 représente la progression dans le temps d'épaisseurs de couches d'oxyde de silicium formées par RTO pour différentes températures d'oxydation, à pression de 10 Torr et pour une concentration de  $H_2$  fixée à 33% du gaz oxydant,

25 - La figure 13 représente schématiquement une comparaison en épaisseurs de couches entre un lot de couches n'ayant pas subi de correction d'épaisseur (13 a), et le même lot après traitement par oxydation sacrificielle, selon deux modes différentes (respectivement 13 b et 13 c),

- La figure 14 représente des épaisseurs d'oxyde de silicium, aux tolérances près, formées par RTO pour 700 couches minces, sous oxydation sèche à 1100°C et en 60 secondes.

30 En préalable à la description qui suit, on précise que par « couche mince » on entend dans ce texte une couche de matériau présentant une épaisseur pouvant aller de quelques Angströms à quelques dizaines de

microns.

Une telle couche mince est typiquement réalisée en un matériau semiconducteur tel que du silicium, de préférence par un procédé de type Smart-Cut®.

5 On précise toutefois qu'une telle couche peut également avoir été obtenue :

- Par une technique de dépôt (par exemple de polysilicium), ou de croissance épitaxiale (par exemple de monosilicium), ou
  - Par une technique de transfert de couche autre que la technique Smart-Cut®. A cet égard, la technique de transfert peut en particulier être une
- 10 technique mettant en œuvre la création d'une zone de fragilisation dans un substrat de matériau semiconducteur, et le détachement au niveau de cette zone pour constituer la couche. On précise en outre que :

- Le matériau semiconducteur peut être du silicium. Et dans ce cas, la
- 15 couche peut correspondre à la couche superficielle d'un SOI,
- Et la technique de transfert, outre une technique de type Smart-Cut®, peut par exemple être une technique de type ELTRAN® ou un autre type de technique de transfert.

En tout état de cause, le matériau de la couche est un matériau pouvant

20 être oxydé (du type par exemple silicium, mais d'autres matériaux sont envisageables : SiC, SiGe par exemple...).

Cette couche mince est avantageusement solidaire d'un support appelé substrat qui permet en particulier de rigidifier l'ensemble couche-substrat (encore appelé tranche).

25 Ce substrat peut avantageusement comporter un semi-conducteur (par exemple du silicium), ou un empilement de couches semi-conductrices, ou encore des structures non homogènes ou des composants ou des parties de composants à des niveaux plus ou moins avancés de leur élaboration.

En référence maintenant à la figure 2, on a illustré un exemple de

30 procédé d'élaboration de couches minces selon l'invention, mettant en œuvre les principales étapes de Smart-Cut®.



Les couches minces de cet exemple sont des couches de silicium d'un SOI.

Toutefois, l'invention s'applique à l'élaboration de tous types de couches minces, y compris des couches – par exemple en silicium – construites par  
5 croissance épitaxiale (en particulier, silicium monocristallin), ou encore par dépôt (en particulier, silicium polycristallin).

Et l'invention n'est pas non plus limitée à une variante d'un procédé de type Smart-Cut®, mais s'applique à tout type de procédé d'élaboration de couche mince.

10 Toujours en référence à la figure 2, on remarque que par rapport à la représentation de la figure 1, on a supprimé les étapes de contrôle d'épaisseur 107, et évité ainsi de multiplier les pertes et ralentissements du procédé qui en découlent.

Et il est également possible de la sorte de relâcher les contraintes  
15 associées aux différentes étapes de fabrication des couches, une étape finale de correction d'épaisseur étant comme on va le voir prévu.

On précise toutefois qu'il est éventuellement possible de maintenir dans certaines variantes de l'invention une ou plusieurs étapes de contrôle intermédiaire 107, selon les besoins spécifiques du procédé.

20 Dans le cas de l'invention en effet, c'est lors de la finition (référéncée ici 105') qu'on intervient sur le contrôle de l'épaisseur des couches.

Comme représenté sur la figure 2, la finition 105' comporte une étape 1050' de correction d'épaisseur, qui comporte elle-même trois opérations s'appliquant à chaque couche :

- 25
- acquisition 1051' d'au moins un profil de mesure d'épaisseur de la couche,
  - déduction 1052' de spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à la couche, à partir du profil de mesure d'épaisseur mesuré en 1051',
  - correction d'épaisseur de couche 1053' selon lesdites spécifications.

On précise que par « profil » on entend une représentation de l'épaisseur  
30 caractéristique d'une couche.

Un tel profil peut être constitué d'un maillage bi-dimensionnel couvrant toute

la surface de la couche. Dans ce cas, un profil de mesure d'épaisseur de la couche consistera en une série de mesures effectuées aux nœuds du maillage.

Il est toutefois possible d'adapter la définition du profil, en fonction de la capacité des machines, du niveau de détail souhaité, et des cadences que l'on  
5 souhaite obtenir en particulier.

On pourra ainsi définir de la manière la plus simple un « profil » comme un point de mesure unique.

Et comme on le verra ci-dessous, la notion de « profil » concerne non seulement les mesures réalisées sur les couches, mais de la même manière les  
10 spécifications de correction d'épaisseur qui seront transmises aux moyens de correction d'épaisseur pour la mise en œuvre de l'opération 1053'.

L'opération de correction d'épaisseur 1053' met en œuvre une oxydation sacrificielle, comme cela sera détaillé plus loin dans ce texte.

L'étape 1050' de correction d'épaisseur peut être suivie d'une finition  
15 supplémentaire 1054', mettant en œuvre par exemple un recuit sous hydrogène.

On a également représenté sur la figure 2 une étape de mise au rebut 108, qui peut éventuellement faire suite à l'opération de déduction de spécifications 1052', au cas où le profil de mesure d'épaisseur de couche  
20 acquis en 1051' ne permettrait pas d'appliquer à la couche une correction adéquate pour obtenir un profil d'épaisseur de couche souhaité en sortie de procédé.

25

### Acquisition de profil de mesure

Après avoir créé des couches minces lors des étapes 101 à 104 (qui sont identiques à celles décrites en référence à la figure 1, on réalise la finition de chaque couche mince en 105'.

30 Pour cela, on exécute tout d'abord une étape 1050'.

Cette étape 1050' débute par une acquisition 1051' d'au moins une



mesure d'épaisseur d'une couche précédemment élaborée au moyen, par exemple, d'un réflectomètre ou d'un ellipsomètre.

Cette acquisition de mesure d'épaisseur de la couche mince peut être réalisée par un dispositif tel qu'un réflectomètre ACUMAP™ de la société ADE.

5           A l'issue de l'opération 1051', on dispose ainsi pour chaque couche mince d'un profil d'épaisseur, qui est une cartographie de l'épaisseur de la couche.

On précise que dans un contexte de fabrication industrielle par lots, une couche du lot peut ainsi subir une mesure d'épaisseur, alors que la couche  
10 précédente du lot (ou qu'une couche précédente du lot, avec un nombre de couches déterminé entre les deux couches) subit l'opération ultérieure 1053' de correction d'épaisseur que l'on va décrire plus bas dans ce texte.

En tout état de cause, le profil mesuré est transmis par le dispositif de mesure d'épaisseur à une unité de traitement, qui peut par ailleurs être reliée à  
15 des moyens de mémorisation aptes à mémoriser les profils mesurés pour chaque couche.

On précise à cet égard que le dispositif permettant de mettre en œuvre l'invention comporte ainsi :

- 20           • des moyens de mesure d'épaisseur – pouvant consister comme on l'a dit en une machine de type ACUMAP™,
- des moyens de correction d'épaisseur – au sujet desquels on donnera des détails plus bas dans ce texte,
- 25           • une unité de traitement, associée à des moyens de mémorisation (ou « mémoire »), et reliée aux moyens de mesure d'épaisseur (pour en recevoir des mesures réalisées sur les couches) ainsi qu'aux moyens de correction d'épaisseur (pour leur transmettre des spécifications de correction d'épaisseur).

On précise également que l'invention peut être mise en œuvre selon un

mode entièrement automatisé dans lequel les différents moyens mentionnés ci-dessus (moyens de mesure d'épaisseur, moyens de correction d'épaisseur, unité de traitement) sont reliés les uns aux autres et sont aptes à échanger automatiquement des informations.

- 5 Dans ce cas, le dispositif détermine automatiquement les « recettes » à appliquer, en fonction des mesures d'épaisseur effectuées sur les couches (la notion de recettes sera explicitée ci-dessous).

Il est cependant également possible de mettre en œuvre l'invention dans un mode simplifié, dans lequel ces trois moyens ne sont pas nécessairement  
10 reliés entre eux.

Et dans un mode de réalisation particulièrement simple de l'invention, le dispositif ne comprendra pas d'unité de traitement, mais uniquement des moyens de mesure d'épaisseur et des moyens de correction d'épaisseur.

- Dans ce dernier mode simplifié, un opérateur observe – par exemple en  
15 temps réel – les mesures d'épaisseur effectuées sur les couches, et entre lui-même des commandes de correction d'épaisseur dans les moyens de correction d'épaisseur, la déduction des corrections d'épaisseur à appliquer étant effectuée par l'opérateur en fonction des mesures d'épaisseur qu'il a constatées.

20

### **Déduction de spécifications de correction d'épaisseur**

L'opération suivante 1052' consiste à déduire des spécifications de correction d'épaisseur à partir du profil de mesure d'épaisseur.

- C'est cette opération qui va permettre de traduire les mesures  
25 d'épaisseur effectuées sur chaque couche, en une commande des moyens de correction d'épaisseur.

En référence à la figure 3, cette opération de déduction de spécifications



de correction d'épaisseur utilise **de préférence** une « bibliothèque » 40 de spécifications-types de correction d'épaisseur 41 à 49 (que l'on nommera « recettes » dans la suite de ce texte), mémorisée de manière permanente dans les moyens de mémorisation mentionnés ci-dessus, référencés 500.

5        Chaque recette est un jeu de spécifications destiné à être fourni au dispositif de correction d'épaisseur qui sera mis en œuvre lors de l'opération 1053', pour commander l'action de ce dispositif.

On précise que si les recettes sont mémorisées de manière permanente dans les moyens de mémorisation 500, ces recettes sont cependant  
10    évolutives : il est en particulier possible à un opérateur de mettre à jour ces recettes dans la mémoire 500, autant que de besoin.

L'opération 1052' consiste ainsi dans ce cas à sélectionner parmi les recettes mémorisées de la bibliothèque 40, celle qui est le mieux adaptée.

Cette sélection peut se faire de plusieurs manières.

15        Dans un mode de réalisation, on utilise pour effectuer une telle sélection une liste 20 de profils-types d'épaisseur (21 à 27 dans l'exemple de la figure 3).

Et comme représenté sur la figure 3, des correspondances sont établies entre les profils-types d'épaisseur et les recettes. Plus précisément, à chaque profil-type est associée une recette unique.

20        L'ensemble des associations entre les profils-types et les recettes définit une « configuration » de l'unité de traitement.

On précise que pour une configuration donnée, plusieurs profils-types peuvent être associés à la même recette.

La configuration composée des associations entre les profils-types et les  
25    recettes sont également mémorisées dans la mémoire 500.

L'invention peut être mise en œuvre de manière complètement automatique ; dans ce cas, cette configuration peut être établie automatiquement par un algorithme, dit de configuration, qui est chargé dans l'unité de traitement.

30        Plus précisément, une des données d'entrée de cet algorithme de



configuration est la spécification-cible de profil d'épaisseur (que l'on nommera « cible » dans la suite de ce texte) qui est établie pour la fabrication de couches.

5 Cette cible peut être modifiée de temps à autre par un opérateur 600, à l'aide de moyens de saisie associés à l'unité de traitement.

Dans tous les cas, elle est mémorisée dans la mémoire 500 (et est désignée par la référence 30).

10 Et à chaque changement de cible, l'algorithme de configuration mentionné ci-dessus est automatiquement réactivé pour établir une nouvelle configuration définissant des correspondances entre les profils-types de la liste 20, et les recettes de la bibliothèque 40 (ces profils-types et ces recettes demeurant mémorisés de manière permanente dans la mémoire 500, et n'étant pas affectés eux-mêmes par les changements de cible).

15 A chaque nouvelle cible, ledit algorithme de configuration va donc associer à chaque profil-type d'épaisseur une recette, qui représente les spécifications de correction d'épaisseur les plus adaptées pour atteindre la cible en partant de ce profil-type.

20 Par « spécifications de correction d'épaisseur les plus adaptées » on entend donc les spécifications qui permettraient d'obtenir une couche dont le profil d'épaisseur est le plus semblable au profil représenté par la cible, si on appliquait à une couche présentant un profil d'épaisseur correspondant au profil-type une correction d'épaisseur selon lesdites spécifications de correction d'épaisseur.

25 Cette association par l'algorithme de configuration prend donc en compte, outre la cible, les profils-types ainsi que les recettes.

Et les nouvelles associations sont ainsi mémorisées dans la mémoire 500.

30 On précise qu'il est possible de mémoriser dans cette mémoire plusieurs configurations différentes, chaque configuration pouvant assigner une recette à chaque profil-type d'épaisseur, selon une association différente.

Dans ce cas, des moyens sont prévus pour permettre à un utilisateur de

sélectionner la configuration désirée.

On notera que la cible 30 et les profils-types de la liste 20 sont des paramètres représentant des grandeurs similaires, c'est à dire un profil d'épaisseur selon un maillage déterminé de la surface de la couche mince.

5        En effet, on comprend dans ce texte le terme de « profil d'épaisseur » par une série de valeurs d'épaisseur de couche, en des points déterminés de la couche.

Et comme mentionné ci-dessus, ces points sont répartis suivant un maillage de préférence bidimensionnel, mais possiblement monodimensionnel  
10 voire ponctuel (réduit à un point), de la surface de la couche. Ce maillage sert ainsi de base pour les profils :

- mesurés lors de l'opération 1051',
- profils-types mémorisés dans la liste 20,
- cible 30 également mémorisée.

15        Précisons toutefois qu'il est possible de prévoir que ces trois catégories de profils soient mémorisés et exploités avec des niveaux de détail différents, dans une variante de l'invention (par exemple acquisition de mesures d'épaisseur selon un maillage très détaillé, et exploitation d'une cible définie sur un sous-maillage moins détaillé – on pourra ainsi typiquement avoir une cible  
20 constituée d'une valeur unique d'épaisseur pour toute la couche).

Et il est même possible de prévoir que ces trois catégories de profils soient définies par des maillages totalement décorrélés les uns des autres : en particulier, le maillage définissant le profil mesuré, et celui définissant le profil de correction peuvent être décorrélés, et définis indépendamment l'un de  
25 l'autre.

Dans un mode de réalisation, ces trois catégories de profils sont toutefois mémorisés et exploités avec le même niveau de détail dans le dispositif permettant de mettre en œuvre l'invention.

On comprend donc qu'à tout moment donné, sont mémorisés dans la  
30 mémoire 500 :

- des informations « permanentes » - qui peuvent cependant être

réactualisées :

- liste 20 de profils-types,
- bibliothèque 40 de recettes,
- ainsi qu'une cible 30 et au moins une configuration, une seule de ces configurations étant sélectionnée à tout moment.

En référence maintenant à la figure 4, on va décrire la manière dont cette configuration est exploitée pour réaliser l'opération 1052'.

Considérant une couche mince 201 (voir figure 5) à finaliser, on cherche à obtenir, après avoir réalisé la correction d'épaisseur 1053' selon la recette qui sera sélectionnée en 1052' suite à la mesure qui a été faite en 1051' de l'épaisseur de la couche mince, une couche mince finie dont le profil d'épaisseur soit le plus semblable possible à la cible 30 mémorisée dans la mémoire 500.

Revenant à l'opération 1052' de déduction de recette, cette opération s'effectue selon deux niveaux.

Le premier niveau correspond à l'algorithme décrit ci-dessus – il s'agit de configurer le dispositif en définissant des associations entre les profils-types et les recettes pour une cible donnée.

Cet algorithme de configuration est comme on l'a dit exécuté lors de tout changement de cible (par exemple pour traiter de manière spécifique un lot de couches minces), dans un mode entièrement automatisé de mise en œuvre de l'invention.

On précise qu'en tout état de cause, même dans ce mode entièrement automatisé, une possibilité peut être laissée à un opérateur de mettre lui-même à jour la configuration mémorisée dans le dispositif.

A cet égard, l'opérateur peut établir lui-même toute configuration désirée en définissant des associations spécifiques entre profils-type d'épaisseur et recettes, pour la charger dans la mémoire de la machine et la mettre en service.

Cet algorithme de configuration peut par exemple réaliser les tâches suivantes :

- pour chaque profil-type, évaluation des différences de valeurs



d'épaisseur entre le profil-type et le profil cible 30. Ces différences d'épaisseur correspondent alors aux corrections d'épaisseur à effectuer sur le profil-type pour obtenir un profil similaire à celui de la cible 30,

- déduction, pour chaque profil-type, d'une recette la plus appropriée pour effectuer les corrections d'épaisseur précédemment évaluées.

A chaque profil-type (de 21 à 27) est alors associée une recette (de 41 à 49) ; dans notre exemple purement illustratif, les associations suivantes ont été déduites :

21 et 43 ; 22 et 46 ; 23 et 42 ; 24 et 49 ; 25 et 41 ; 26 et 47 ; 27 et 44.

Un utilisateur 600 peut comme on l'a dit modifier des paramètres mémorisés en 500, par exemple le profil cible 30, des profils-types (de 21 à 27) et/ou des recettes (de 41 à 49), et ce par l'intermédiaire d'une interface utilisateur-support mémoire (telle qu'un clavier et un écran).

Ces changements peuvent consister en des ajouts, des effacements et/ou des transformations de paramètres.

Après une telle modification l'utilisateur peut déclencher une reconfiguration du dispositif – c'est à dire une exécution de l'algorithme de configuration – pour établir de nouvelles associations.

Le deuxième niveau de l'opération 1052', en référence à la figure 4, concerne une sélection de recette (de 41 à 49) en fonction d'une cible 30 mémorisée et d'un profil de mesure 60 obtenu en 1051' à partir d'une couche mince 201.

Ce deuxième niveau ne s'effectue qu'une fois le dispositif configuré comme expliqué ci-dessus.

Cette déduction de recette se déroule en deux étapes :

- sélection 70 parmi les profils-types de la liste 20 mémorisée, d'un profil-type le plus semblable au profil mesuré 60. Ceci peut se faire suite à l'évaluation des différences des valeurs d'épaisseur entre le profil mesuré 60 et chacun des profils-types, suivant un maillage donné (par exemple le maillage définissant les profils-types, ou un sous-maillage de ce maillage),

- Déduction 80 de la recette 41 à 49 associée au profil-type 21 à 27, grâce à l'association fournie par la configuration sélectionnée (on précise à cet égard que l'unité de traitement est reliée aux différents champs de la mémoire 500).

5 Dans notre exemple, le profil-type le plus semblable au profil mesuré 60 est référencé 23, et la recette associée est donc référencée 42.

Et la recette déduite 42 comprend des paramètres aptes à commander la correction d'épaisseur adaptée au profil de mesure 60.

Pour ajuster au plus près les épaisseurs obtenues par application des  
10 recettes sélectionnées, on pourra augmenter le nombre de profils-types de la liste 20 et de recettes de la liste 40.

Il est également possible dans cette perspective d'adapter, par exemple pour certains lots de couches minces, les listes de profils-types et de recettes que l'on exploite pour sélectionner une recette à partir des mesures  
15 d'épaisseur.

Dans une variante de réalisation de l'invention, les listes 20 et/ou 40 de profils-types et de recettes font ainsi l'objet d'un classement particulier, par exemple selon une arborescence définissant des catégories et sous catégories (avec un nombre de niveaux désiré).

20 Il est dans ce cas possible de regrouper par exemple les profils-types en catégories de profils similaires, selon une arborescence de catégories, sous-catégories, etc.. dont les feuilles (le niveau le plus bas) sont des listes 20 de profils-types.

On peut par exemple définir une catégorie par des caractéristiques très  
25 générales de profil-type, et retenir des caractéristiques de plus en plus détaillées pour définir les groupements de niveau inférieur dans l'arborescence.

Dans ce cas, on peut sélectionner – toujours par l'intermédiaire d'une interface du dispositif – des zones de l'arborescence de profils-types dans lesquelles chercher pour réaliser la sélection 70.

30 On peut ainsi éviter de chercher à comparer les couches d'un certain lot avec des profils-types qui ne présenteront pas les mêmes caractéristiques

générales, et ne chercher que dans les catégories contenant des profils-types similaires aux profils attendus des couches que l'on mesure.

Dans ce cas, la sélection 70 se fait en autant de pas que l'arborescence comprend de niveaux – un pas de sélection initial permettant de sélectionner  
5 une catégorie de niveau le plus élevé de l'arborescence, chaque pas suivant permettant de sélectionner une sous-catégorie, sous-sous catégorie, etc.. en descendant à chaque fois l'arborescence d'un niveau, jusqu'à sélectionner la liste de profils-types adéquate, et enfin le profil-type le mieux adapté.

En tout état de cause, une configuration unique est sélectionnée pour  
10 chaque liste de profils-types susceptible d'être explorée pour la sélection d'un profil-type ; et une fois le profil-type sélectionné, c'est cette configuration de la liste comprenant le profil-type qui sera utilisée pour déduire une recette.

Cette sélection en pas successifs permet de répertorier le profil mesuré  
60 dans des catégories successives, de plus en plus détaillées et précises, en  
15 termes de spécifications d'épaisseur.

Elle offre ainsi l'avantage de gagner en efficacité et en rapidité lors de l'étape de déduction du profil-type mémorisé le plus semblable au profil mesuré 60.

D'autres variantes peuvent également exister et concernent le même  
20 type de fonctionnement de l'opération '1052' non pas au deuxième niveau, mais au premier niveau.

Il est en effet possible de ventiler de manière similaire l'ensemble des profils-types en plusieurs listes 20 regroupées en une arborescence de profils-types, et/ou de ventiler l'ensemble des recettes en plusieurs listes 40 regroupées en une arborescence de recettes, pour mettre en œuvre  
25 l'algorithme de configuration.

Dans ce cas en effet, pour établir une configuration, l'algorithme de configuration cherchant une recette à associer à un profil-type ne cherchera pas dans toutes les recettes, mais sélectionnera d'abord des catégories de recettes  
30 en fonction des écarts d'épaisseur entre la cible et le profil-type (c'est à dire en sélectionnant une catégorie de recettes correspondant le mieux possible à ces

écarts).

Ici encore, l'arborescence des recettes est définie par des niveaux de détail de plus en plus fins en descendant l'arborescence (c'est à dire par exemple en définissant les catégories de haut niveau par peu de paramètres de correction d'épaisseur, et en aboutissant en bas d'arborescence à une définition plus complète de la recette).

Et il est également possible d'établir pour la configuration un lien entre un niveau donné d'une arborescence de profils-types (« niveau de départ ») et une arborescence de recettes (« niveau d'arrivée ») : dans ce cas, pour chaque profil-type rattaché à une catégorie donnée de ce niveau de départ, il existe une catégorie du niveau d'arrivée des recettes.

Et lors de la configuration, toute recherche d'une recette pour un profil-type de ce niveau de départ sera automatiquement dirigée vers ladite catégorie de niveau d'arrivée (la recherche se poursuivant ensuite en descendant l'arborescence des recettes).

On peut aussi lors de la configuration associer à une liste de profils-types la même recette, ou la même liste de recettes – ou de manière générale le même regroupement à un niveau quelconque de l'arborescence des recettes.

On peut faire de même pour toute liste de profils-types – ou de manière générale pour tout regroupement à un niveau quelconque de l'arborescence des profils-types.

Il est également possible de définir une arborescence des recettes non pas par niveaux de détails successifs, mais par paramètres de recettes.

On peut ainsi définir par exemple :

- une première catégorie du niveau le plus haut dans l'arborescence des recettes, les recettes de cette première catégorie de niveau le plus haut définissant une spécification de correction d'épaisseur uniforme pour toute la surface de la couche,
- et d'autres catégories de plus haut niveau, selon des paramètres globaux de répartition des spécifications de correction d'épaisseur sur cette surface.

Par exemple :

- réduction d'épaisseur plus (ou au contraire moins) importante dans une région centrale de la couche,
- réduction d'épaisseur plus (ou au contraire moins) importante dans un
- 5       secteur angulaire donné de la couche,
- etc...

On pourra ainsi lors du choix de la recette à appliquer à une couche dont on vient de mesurer l'épaisseur, naviguer dans cette arborescence de recettes en fonction des principales caractéristiques de la cartographie d'épaisseur

10   mesurée sur la couche.

Par exemple, dans le cas d'une couche présentant un profil d'épaisseur concave, le système associera automatiquement un profil type d'épaisseur concave correspondant à la couche mesurée. Et, poursuivant cet exemple, si la

15   cible d'épaisseur est une cible « plate », c'est-à-dire correspondant à une épaisseur constante de la couche, il conviendra d'appliquer une recette permettant de rattraper cette concavité constatée.

Dans ce cas, l'algorithme de configuration permettant de sélectionner une recette dans la bibliothèque va explorer une catégorie de haut niveau correspondant à des recettes « convexes » ou « bombées ».

20       L'exemple qui vient d'être mentionné correspond ainsi à une correction d'épaisseur permettant d'obtenir une uniformité d'épaisseur intracouche.

Et les considérations ci-dessus à, propos de l'établissement de liens entre les profils-types et les recettes demeurent applicables, quelles que soient les arborescences retenues.

25       Dans tous les cas, les deux niveaux décrits ci-dessus – configuration et sélection d'une recette pour chaque couche mesurée – correspondent à l'opération 1052'.

Dans un mode préférentiel, l'opération de déduction 1052' est mise en œuvre par un dispositif intégrant des composants électroniques aptes à

30   mémoriser et à exécuter au moins un programme logique, lui-même apte à mettre en oeuvre au moins une partie de l'opération de déduction ; il peut s'agir,



par exemple, de l'exécution de programmes binaires par un ordinateur.

On précise que l'opération de déduction de spécifications de correction d'épaisseur 1052' peut également être réalisée différemment des modes préférés décrits ci-dessus.

- 5 Il est ainsi possible de mettre en œuvre tout moyen pour élaborer des spécifications de correction, à partir d'une cible mémorisée et d'une mesure de profil acquise.

- 10 Dans un mode de réalisation particulièrement simple, il est ainsi possible de faire calculer, pour chaque couche mince dont on a mesuré l'épaisseur, des spécifications déduites directement des écarts d'épaisseur entre le profil de la cible et le profil mesuré.

- 15 Et dans un mode de réalisation simplifié de l'invention, il est également possible comme mentionné ci-dessus que la déduction des spécifications de correction d'épaisseur soit simplement réalisée par un opérateur, en fonction des mesures d'épaisseur constatées.

Dans ce cas, l'opérateur, après avoir lui-même déduit les spécifications de correction d'épaisseur à appliquer à une couche qui vient d'être mesurée, renseigne les moyens de correction d'épaisseur avec ces spécifications.

- 20 Et toujours comme mentionné ci-dessus, il est également possible que l'opérateur ne renseigne ces spécifications de correction d'épaisseur qu'à l'occasion d'un changement de cible, dans le cas où les couches d'un même lot – ou même les couches de plusieurs lots consécutifs – ont préalablement subi des étapes de fabrication dans des conditions similaires et doivent respecter en fin de processus une même cible d'épaisseur (par exemple une cible constituée  
25 simplement d'une valeur d'épaisseur moyenne, ce qui implique une épaisseur la plus constante possible de la couche).

### Correction d'épaisseur

L'opération 1053' comprend au moins une correction d'épaisseur de la couche selon les spécifications de correction d'épaisseur précédemment déduites en 1052'.

5 Dans le cas de l'invention, la correction d'épaisseur utilise un traitement de couche par oxydation sacrificielle.

On peut ainsi traiter l'épaisseur des couches par oxydation sacrificielle, en réalisant une étape de formation d'une couche d'oxyde à la surface de la couche, éventuellement une étape de recuit, et une étape de désoxydation.

10 Dans l'exemple d'une tranche 200 comprenant une couche mince de semi-conducteur 201 sur un substrat support 202 comme représenté sur la figure 5, l'oxydation sacrificielle est mise en œuvre pour réduire sélectivement l'épaisseur de la zone superficielle 203 se trouvant à la surface de la couche, cette zone offrant une trop grande inhomogénéité d'épaisseur de couche.

15 On précise que par « sélectivement » on entend la caractéristique consistant à attaquer par l'oxydation de manière différenciée différentes régions de la surface de la zone 203.

Plus précisément, on précise que « sélectivement » ne correspond pas à un traitement « binaire » dans lequel on oxyderait soit totalement, soit pas du tout, certaines régions de la couche.

20 Il s'agit au contraire d'adapter localement à volonté l'importance de l'oxydation, selon l'endroit de la couche considéré.

En effet, il est possible en mettant en œuvre une technique d'oxydation sacrificielle d'ajuster les modifications d'épaisseur en différents endroits de la surface de la couche.

25 Et un avantage correspondant est qu'il est de la sorte possible de traiter sélectivement différentes régions d'une couche pour appliquer sur ces régions différentes corrections d'épaisseur, et ce en une opération simultanée.

Cet avantage permet notamment de se démarquer clairement des techniques de type PACE ou EPION mentionnées en introduction de la présente demande, ces techniques nécessitant le déplacement séquentiel de

certaines éléments du dispositif (déplacement de la couche elle-même et/ou d'un masque), pour réaliser une telle correction d'épaisseur sélective en différents endroits de la surface d'une couche.

5 L'effet de la technique d'oxydation sacrificielle est illustré sur les figures 5a à 5c.

La figure 5a représente ainsi une couche de semi-conducteur 201 (par exemple en silicium) sur un substrat 202.

10 La couche 201 présente une région superficielle 203 qui définit une épaisseur non uniforme (dans l'exemple simplifié de la figure 5a, la surface de la région 203 présente une pente qui a été exagérée).

En référence à la figure 5b, la couche 201 est oxydée par traitement thermique pour former une couche d'oxyde 204. Cette couche d'oxyde 204 se développe au voisinage de la surface de la couche 201 au niveau de la zone 203 (dont la limite est représentée en traits interrompus sur la figure 5b).

15 Au cours du traitement thermique, l'interface entre l'oxyde et le silicium progresse en profondeur dans le silicium, en définissant une frontière 2014 entre la couche d'oxyde superficielle et la couche de silicium 201 dont la pente se rapproche d'une direction parallèle à la direction générale de l'interface entre la couche 201 et le substrat 202.

20 Plus précisément, la position de cette frontière 2014 est définie par l'intensité locale de l'oxydation sacrificielle.

Et du fait qu'on contrôle (comme cela sera expliqué plus en détails plus loin dans ce texte) cette intensité locale d'oxydation sacrificielle, on contrôle par conséquence localement la position de la frontière 2014 en tout point de la  
25 couche.

Dans le cas de la représentation simplifiée de la figure 5b, on peut considérer en première approche que cette frontière a une position sensiblement symétrique à celle de la surface de la couche d'oxyde créée, par rapport à la position de la surface de la région 203 (région qui a été  
30 « absorbée » dans la couche d'oxyde 204).

Dans une variante qui correspond à des enseignements du brevet FR 2 777 115 (voir en particulier l'exemple 2), une étape additionnelle de recuit du substrat est ajoutée pour permettre de guérir la couche 201 des irrégularités de surface engendrées au cours de l'oxydation et au cours des étapes  
5 précédentes du procédé d'élaboration de couche mince.

Comme expliqué dans ce brevet FR 2 777 115 (voir page 11 ligne30 jusqu'à la fin de la description), on peut en particulier traiter des structures de type SOI.

En référence à la figure 5c, une étape de désoxydation suit le recuit.

10 La couche d'oxyde 204 est lors de cette étape généralement consommée par voie chimique. A titre d'exemple, pour enlever une épaisseur de  $\text{SiO}_2$  de l'ordre de 50 à 200 Angströms, la tranche 200 est plongée dans un bain d'acide fluorhydrique à 10 ou 20 %, pendant environ 5 à 30 secondes.

Au final, on obtient une couche mince 201, figure 5c, ayant une  
15 épaisseur plus uniforme (et moins importante) que la couche mince initiale 201, de la figure 5a.

Le procédé d'oxydation sacrificielle décrit ci-dessus n'est qu'une variante des procédés exposés dans le document FR 2 777 115 ; la présente invention n'est pas limitative à cette variante et s'étend à tous les autres procédés  
20 d'oxydation sacrificielle.

Les paramètres principaux des techniques de traitement thermique d'oxydation sont la température, la durée d'oxydation, et la pression partielle d'oxygène dans l'atmosphère d'oxydation.

Ces paramètres peuvent être bien contrôlés, ce qui confère à cette  
25 application du procédé une bonne reproductibilité.

Ce procédé est aussi souple d'utilisation et compatible avec l'ensemble des procédures habituelles de traitement de couches minces ou de tranches pour la fabrication de composants pour la micro-électronique.

Les figures 6 à 10 présentent un traitement particulier de couche mince  
30 par oxydation sacrificielle au moyen d'une technique d'oxydation thermique rapide (ou RTO, acronyme anglo-saxon de Rapid Thermal Oxydation).

Le dispositif de traitement de couches minces par oxydation sacrificielle qui va servir de base à cette description est un dispositif du type RTP XE Centura, de la société Applied Materials®.

5 Ce dispositif comprend notamment une chambre d'oxydation 400 apte à contenir au moins une couche mince de semi-conducteur ou une tranche comprenant une couche mince de semi-conducteur.

La couche mince ou la tranche est supportée, à l'intérieur de la chambre d'oxydation, par un plateau annulaire 403 plat, généralement en carbure de silicium.

10 Au-dessus de la couche mince se trouve un système de chauffage comprenant plusieurs lampes 401, chacune étant généralement placée à l'intérieur de tubes légers.

Ces lampes 401 sont préférentiellement de type halogène.

15 Ces lampes 401 sont avantageusement disposées de sorte à recouvrir la surface de la couche mince.

Du fait de la très forte chaleur dégagée par ce système de chauffage (de l'ordre de 1000°C), il est recommandé d'installer un circuit de refroidissement 407 dans la paroi de la chambre d'oxydation 400, afin d'évacuer la chaleur et d'éviter ainsi d'éventuelles brûlures aux parois externes de la chambre 400.

20 Une fine fenêtre 402, généralement en quartz, sépare les lampes 401 de la chambre des gaz 407 oxydants, la chambre des gaz 407 étant l'espace libre situé au-dessus de la couche mince (voir figure 7 et figure 8).

25 Au moins deux ouvertures 409 et 410, généralement en vis à vis, sont pratiquées dans la paroi de la chambre d'oxydation 400 au niveau de la chambre des gaz 407, chacune d'entre elles étant apte à être reliée hermétiquement à un système de pompage, afin de permettre l'entrée 301 et la sortie 302 respectives des gaz oxydants de la chambre des gaz 407.

30 Un cylindre 406, préférentiellement creux et préférentiellement en quartz, situé en dessous du support 403 et solidaire de celui-ci est apte à opérer une rotation autour de l'axe du cylindre par rapport à la chambre d'oxydation 400.



Le cylindre 406 permet ainsi de faire tourner la couche mince sous les lampes 401, et d'obtenir un traitement thermique aussi uniforme que possible appliqué à toute la couche en permettant de s'affranchir des effets de toute inhomogénéité locale thermique.

5 Ceci est particulièrement avantageux lorsqu'on désire appliquer à une couche une recette homogène sur la surface de la couche.

Et de manière générale, la configuration avec un support 403 pouvant être mis en rotation est bien adaptée lorsque l'on souhaite réaliser une correction d'épaisseur avec une symétrie par rapport à l'axe de rotation du  
10 support.

Ceci peut être désiré en particulier lorsque l'on traite des lots de couches ayant préalablement subi des étapes d'élaboration et de traitement qui avaient elles-mêmes pour effet de modifier de manière symétrique les propriétés de la couche.

15 Il est cependant également possible en variante d'adopter un support 403 fixe.

Un système de mesure en température est également installé dans la chambre, généralement placé sous la couche mince et/ou la tranche.

Il comprend préférentiellement un plateau de réflectance 405 apte à  
20 amplifier les informations de rayonnements thermiques pour que des capteurs 404 capturent les informations thermiques et les transmettent à une unité de contrôle reliée à l'unité de traitement.

Les capteurs 404 sont disposés pour mesurer le profil de température des gaz oxydants à proximité de la surface de la couche mince.

25 Les capteurs 404 sont préférentiellement des fibres optiques, et sont donc destinés à transmettre l'information optique des rayons thermiques, prélevés à proximité du plateau de réflectance 405, à une unité de contrôle.

En référence à la figure 7, les gaz entrés en 301 se retrouvent pendant une durée déterminée dans une chambre des gaz 407 portée à une  
30 température de consigne. La sortie des gaz se fait en 302.

Comme expliqué ci-dessus, une fois que la nature du gaz, la teneur en oxygène de l'atmosphère et la pression sont fixées, ce sont ces paramètres durée de temps et température qui vont déterminer en temps réel l'épaisseur moyenne d'oxyde formée dans une couche mince 201, comme l'illustre la figure

5 12.

Cette figure montre en effet les progressions en épaisseur (en ordonnée) de couches minces pour différentes durées d'oxydation (en abscisse) – et ce pour différentes températures d'oxydation correspondant aux différentes courbes.

10 Plus la température d'oxydation est élevée, plus l'épaisseur moyenne de couche oxydée est élevée, et ce pour une même durée d'oxydation fixée à une certaine valeur.

Plus la durée d'oxydation est grande, plus l'épaisseur moyenne de couche oxydée est élevée, et ce pour une température fixée à une certaine

15 valeur.

On assure par ailleurs le contrôle de la température, en régulant individuellement l'alimentation des lampes 401 (ou de groupes de lampes).

L'ajustement électrique individualisé pour chaque lampe permet ainsi d'établir un profil de température différencié et prédéterminé sur toute la surface

20 de la couche mince.

Ceci est illustré sur la figure 9, pour trois types de taille de couches minces 206, 207 et 208, chacune en forme de disque.

Dans l'exemple particulier illustré ici, les lampes sont classées en douze catégories, numérotées de 1 à 12 allant des lampes surplombant la zone

25 centrale vers les lampes surplombant les zones périphériques des couches 206, 207 et 208. Chaque numéro de lampe correspond, dans cet exemple, à une température de lampe.

On précise que le nombre de catégories de lampes peut être adapté en fonction des besoins : on augmentera le nombre si on désire différencier

30 finement la correction d'épaisseur appliquée aux différents endroits de la couche.



La température obtenue en un point de la surface de la couche dépendant d'abord de la lampe la plus proche mais aussi des lampes voisines, la zone centrale de la couche sera donc plus chaude que sa zone périphérique dans le cas d'une alimentation uniforme de toutes les lampes (c'est à dire si  
5 tous les numéros de lampes sont les mêmes).

Si on souhaite une température uniforme (et donc une oxydation uniforme) sur toute la surface de la couche 206, 207 ou 208, on alimente les lampes centrales de manière à ce que celles-ci soient moins chaudes que les lampes périphériques.

10 Si on souhaite au contraire obtenir des températures différenciées (et donc une oxydation différenciée) sur la surface de la couche 206, 207 ou 208, il suffit d'adapter les alimentations de chaque lampe dans le but d'obtenir le profil en température souhaité.

Et cette différenciation sélective des alimentations de chaque lampe  
15 découle directement des commandes correspondant à la recette sélectionnée, commandes qui ont été transmises au dispositif de correction d'épaisseur par l'unité de traitement.

On précise par ailleurs qu'il est possible d'étalonner le dispositif de correction d'épaisseur de manière à ce que des recettes (élaborées  
20 automatiquement par l'unité de traitement ou bien simplement par un opérateur) dont les caractéristiques sont transmises sous forme de commandes au dispositif de correction d'épaisseur, produisent l'effet souhaité en terme de correction d'épaisseur.

On pourra réaliser un tel étalonnage en observant l'effet de consigne de  
25 correction d'épaisseur (recettes), sur la surface de couches. On pourra même faire suivre l'opération de correction d'épaisseur d'une dernière mesure de couche, afin de détecter d'éventuelles dérives de la correction d'épaisseur par rapport à la recette spécifiée.

Dans ce cas, il est possible de prévoir une boucle de régulation sur le  
30 dispositif de correction d'épaisseur pour adapter l'alimentation des différentes catégories de lampes et remédier à ces dérives en temps quasi-réel.



On précise par ailleurs que les principaux paramètres caractérisant l'oxydation sacrificielle peuvent être suivis et pris en compte par l'unité de traitement, qui gère le dispositif de correction.

5 A ces fins, l'unité de traitement est reliée aux différents capteurs qui permettent de caractériser le déroulement des opérations d'oxydation sacrificielle (en particulier temps et différentes sondes de températures).

Les opérations d'ajustement en température peuvent en effet être facilitées par des mesures en température au moyen de capteurs 404, référencés ici P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 et P8, au voisinage de la couche.

10 La durée d'oxydation sacrificielle est également définie dans la commande transmise par l'unité de traitement au dispositif de correction d'épaisseur suite à la sélection d'une recette.

Cette durée d'oxydation est déterminée grâce en particulier à des valeurs de référence préétablies à partir de liste de mesures précédemment effectuées, et mémorisées dans l'unité de traitement.

Ces mesures précédemment effectuées comprennent :

- des mesures de durée de séquence machine connue (par exemple la durée entre le temps d'entrée 301 et le temps de sortie 302 de gaz, ou bien la durée entre le temps d'entrée et le temps de sortie d'une couche mince de la chambre d'oxydation, ou bien la durée entre le temps de début et le temps de fin de chauffage, etc.),
- et des mesures d'épaisseur d'oxyde pour un certain nombre de couches post-oxydées dans des conditions d'oxydation prédéterminées.

25 A partir des comparaisons de ces deux types de mesures, et de la recette sélectionnée, l'unité de traitement déduit des valeurs de référence pour la détermination d'une durée d'oxydation de couches élaborées dans ces mêmes conditions d'oxydation prédéterminées.

30 Ajoutons que les paramètres principaux influençant la durée d'oxydation (contrôle de la composition chimique du gaz oxydant durant l'oxydation, contrôle en température, contrôle en pression, etc.) sont également contrôlés.



A cet égard, une variante du dispositif représenté figure 8 illustre un moyen de contrôle supplémentaire de la pression dans la chambre des gaz 407.

Le schéma de la figure 8 représente en effet une chambre d'oxydation 5 400 comprenant une chambre supplémentaire de pressurisation 408 reliée à au moins une pompe à vide et permettant de créer une pression réduite dans la chambre des gaz 407.

Par ce moyen, pour des pressions réduites, on peut influencer la vitesse d'oxydation des couches, et donc autoriser un meilleur contrôle de l'épaisseur 10 des couches.

Les pressions utilisées sont typiquement au-dessus de quelques torrs, et donc de valeurs plus grandes que 0,01 atmosphère.

On atteint ainsi des vides bien moins poussés que ceux des procédures antérieures tentant d'atteindre les buts de la présente invention. Ce vide moins 15 poussé réduit ainsi les contraintes au niveau des moyens de mise en œuvre du procédé (moyens de pompage, moyens d'étanchéité, moyens de surveillance).

L'oxydation thermique peut toutefois être réalisée aussi sous pression atmosphérique, voire à une pression supérieure.

En ce qui concerne le paramètre de composition chimique des gaz 20 oxydants, il est d'abord habituel d'avoir, avant toute entrée 301 de gaz, une atmosphère rendue la plus inerte et la moins oxydante possible au moyen par exemple de gaz inerte ou d'hydrogène.

La formation d'une couche d'oxyde de surface peut être généralement réalisée par voie sèche, ou par voie humide.

25 Par voie sèche, la formation de la couche d'oxyde de surface est produite sous oxygène gazeux.

Par voie humide, la formation de la couche d'oxyde de surface est produite par l'intermédiaire de vapeur d'eau.

En ce qui concerne la voie humide, une technique préférentielle est celle 30 concernant un mélange gazeux en entrée 301 comportant du dioxygène et de l'hydrogène.

En pratique, tous ces paramètres (température, durée, pression, composition des gaz) sont contrôlés, permettant ainsi d'atteindre une reproductibilité fiable des oxydations pour des variations d'épaisseur d'oxyde qui peuvent osciller autour de 10 Angströms, comme le montre par exemple la figure 14 où des épaisseurs d'oxyde (en ordonnée) sont comparées pour 700 couches (en abscisse) élaborées dans les mêmes conditions d'élaboration.

Ces paramètres sont aussi faciles à ajuster, rendant un tel procédé bien plus souple d'utilisation et plus homogène que l'ensemble des procédures habituelles de traitement de couches minces et/ou de tranches pour la fabrication de composants pour la micro-électronique.

La figure 10 illustre un procédé de fonctionnement d'une chambre d'oxydation thermique rapide.

On précise que dans la version la plus complète du dispositif selon l'invention (qui comprend en particulier une unité de traitement), les moyens matériels évoqués pour cette oxydation thermique rapide sont reliés à l'unité de traitement, et sont commandés par elle.

Une unité de contrôle 502 en température ajuste un profil 503 préétabli de température dans le temps en fonction des mesures en température 501 reçues des capteurs 404 au niveau d'une couche mince 201, et alimente les lampes 401 conformément au profil 503 choisi.

Ce dispositif permet ainsi d'avoir un contrôle précis et aisé sur le déroulement de l'oxydation, et donc sur les valeurs d'épaisseur de la couche 201.

L'unité de contrôle 502 peut aussi avantageusement prendre en compte des spécifications des paramètres composition des gaz, pression dans la chambre des gaz, arrivée des gaz, cadence de passage des couches à l'intérieur de la chambre, etc.

De la sorte, la mise en œuvre d'une oxydation sacrificielle par laquelle on effectue un retrait d'épaisseur de couche est plus rapide que les techniques de l'art antérieur, étant donné que cette technique d'oxydation sacrificielle se fait simultanément sur toute la couche (et non de façon locale).



Des variantes d'un tel dispositif concernant des chambres d'oxydation pouvant contenir plusieurs couches minces, ou des associations de plusieurs chambres d'oxydation, pour augmenter encore la cadence des couches dans la chaîne de leur élaboration.

5 Le choix du dispositif de correction d'épaisseur mis en œuvre par le procédé de la présente invention ne se limite pas à ce dispositif 400 d'oxydation thermique rapide mais à tous les autres dispositifs d'oxydation thermique.

De façon générale, le procédé de l'invention peut être mis en œuvre par n'importe quel procédé utilisant un procédé d'oxydation sacrificielle de  
10 correction d'épaisseur.

De manière générale, on obtient grâce à la technique d'oxydation sacrificielle une précision de correction bien supérieure à ce qui est envisageable avec des techniques connues.

Une application du présent procédé consiste en un retrait uniforme de  
15 matière sur la surface de la couche et pouvant atteindre plusieurs centaines d'Angströms.

Ceci est atteint en sélectionnant une recette comprenant une seule valeur de correction d'épaisseur, ce qui permettra de réduire de façon uniforme l'épaisseur de la couche à corriger.

20 Et le dispositif d'oxydation règlera dans ce cas la température dans la chambre d'oxydation, en jouant en particulier sur l'alimentation électrique des lampes 401 et sur la durée d'oxydation afin d'obtenir une température uniforme au niveau de toute la surface de la couche, et donc une oxydation uniforme.

Une autre application consiste à effectuer un retrait de matière  
25 différencié sélectivement sur la surface de la couche, par exemple pour ajuster une uniformité intracouche.

Dans le cas particulier où on essaie ainsi d'atteindre une uniformité intracouche en épaisseur de la couche, il peut être en effet nécessaire de pratiquer un rattrapage de certaines zones inégales, telle une symétrie  
30 cylindrique convexe, concave et apparue lors de l'élaboration de la couche, ou bien telles des pentes « à gauche » ou « à droite », etc.

Un tel retrait différencié de matière peut être mis en œuvre par un procédé d'oxydation sacrificielle, en particulier en établissant localement au niveau de la surface de la couche une température d'oxydation spécifique, et donc une épaisseur d'oxyde spécifique, en sélectionnant une recette adaptée, ce qui entraînera l'envoi d'une commande correspondante au dispositif d'oxydation sacrificielle.

Et reprenant le cas de la chambre d'oxydation 400, une telle commande provoquera l'alimentation sélective des lampes 401 nécessaires pour réaliser les corrections désirées dans les zones choisies.

Il est également possible de combiner des recettes, pour traiter une même couche.

On peut ainsi en particulier mettre en œuvre une correction (par exemple importante) d'épaisseur de manière uniforme sur la couche, puis une correction différenciée plus fine et susceptible de rattraper les inhomogénéités locales d'épaisseur, le rattrapage local pouvant être mis en œuvre par oxydation sacrificielle différenciée.

Par ce procédé d'élaboration de couche intégrant des opérations de correction d'épaisseur, le traitement de couche par oxydation sacrificielle est adapté aux épaisseurs actuelles de couches minces.

Les paramètres temps et température de l'oxydation, facilement ajustables, peuvent définir la quantité de matière à retirer et donc autorisent une maîtrise de la technique de sorte à obtenir une quantité de matière retirée pouvant varier de manière contrôlée entre quelques dizaines d'Angströms et quelques milliers d'Angströms, sans pour autant créer de défauts cristallins notables, et conduisent donc à des applications sur des couches très minces.

Ces derniers points mènent en pratique à des possibilités d'application du procédé de la présente invention sur des couches minces de semi-conducteur d'épaisseur moyenne bien inférieures à 1  $\mu\text{m}$ .

Un autre aspect de l'invention concerne le fait que les couches minces sont généralement élaborées par lots.



Selon cet aspect de l'invention, on définit, pour toutes les couches d'un lot, un profil unique d'épaisseur cible (c'est la « cible » 30 qui est commune aux couches du lot).

5 Les spécifications respectives de correction d'épaisseur de chaque couche du lot sont alors individualisées de manière à ce que chaque couche du lot ait, une fois la correction d'épaisseur effectuée, un profil d'épaisseur final de couche le plus proche possible de la cible.

Les corrections d'épaisseur peuvent être uniformes, différenciées ou bien uniformes et différenciées, comme cela a été décrit ci-dessus.

10 Ce procédé concernant des couches de lot peut aussi s'appliquer à un lot organisé en une succession de couches, et pour lequel on mesure (1051') l'épaisseur moyenne d'une couche du lot pendant qu'on corrige (1053') l'épaisseur de la couche précédente du même lot (après avoir mesuré l'épaisseur de cette dernière couche).

15 Un résultat global de l'utilisation de ce type de procédé conforme à l'invention est présenté figure 13, qui comprend trois graphes 13a, 13b et 13c.

Ces trois graphes représentent des histogrammes de répartition d'épaisseur de couches d'un même lot (par souci de simplification, le lot comprend ici trois couches).

20 Chaque courbe d'histogramme correspond ainsi à une couche, en représentant le nombre N de points de la surface de la couche ayant une épaisseur donnée (épaisseur en abscisse, N en ordonnée).

25 Chaque couche a ainsi une épaisseur qui peut typiquement être répartie selon une gaussienne (les points auxquels l'épaisseur est déterminée étant définis par un maillage de la surface de la couche).

Et en traits pointillés verticaux est représentée une épaisseur moyenne de chaque couche.

30 Le graphe 13a montre ainsi une première répartition d'épaisseurs, pour les trois couches du lot. Chacune de ces trois couches a une répartition d'épaisseur, autour d'une épaisseur moyenne.

Le graphe 13b correspond aux mêmes couches, après un traitement par oxydation sacrificielle visant à homogénéiser les épaisseurs moyennes des couches.

On a à cet effet adopté une configuration dans laquelle les recettes  
5 sélectionnées pour chaque couche sont individualisées, en fonction de la mesure de la couche, et dans la perspective d'atteindre une cible commune.

Ceci se traduit par un resserrement des épaisseurs moyennes des couches du lot (meilleure uniformité intercouches).

Il est également possible de considérer a priori que les couches de  
10 chaque lot présentent des profils d'épaisseur similaires, à des tolérances données. Ceci sera vrai en particulier lorsque les couches d'un même lot ont préalablement subi les mêmes étapes de fabrication dans les mêmes conditions.

Dans ce cas, on pourra ne mesurer que certaines couches du lot (voire  
15 une seule), et non pas toutes les couches du lot. En fonction de cette ou de ces mesure(s) d'épaisseur, on déduira (automatiquement, ou grâce à un opérateur) une recette unique à appliquer à toutes les couches du lot en ce qui concerne la correction d'épaisseur.

Un tel traitement, dont le résultat n'est pas représenté sur les figures,  
20 aboutirait à un décalage des valeurs d'épaisseur moyenne des couches du lot, sans resserrer ces valeurs (décalage vers des valeurs plus faibles d'épaisseurs moyennes, du fait de la correction d'épaisseur).

Enfin, le dispositif particulier de correction d'épaisseur décrit plus haut  
(du type RTP XE Centura™) ne constitue qu'un exemple non limitatif,  
25 particulièrement adapté à la correction d'épaisseur d'une seule couche à la fois.

Il est en effet possible de mettre en œuvre selon l'invention tout dispositif de correction d'épaisseur de la surface d'une couche.

En particulier, de tels dispositifs peuvent avantageusement permettre de corriger l'épaisseur de couche de manière sélective.

30 On rappelle que par « sélective » on entend la faculté d'attaquer de manière différenciée différentes régions de la surface de la couche.



Et en corrigeant de manière sélective et individualisée l'épaisseur de chaque couche (ce qui nécessite une mesure de chaque couche dont on désire corriger l'épaisseur), on peut resserrer l'histogramme de répartition d'épaisseur de chaque couche du lot, en plus de rapprocher les valeurs d'épaisseur  
5 moyenne des couches.

Ceci est illustré sur le graphe 13c.

Dans tous les cas, cette correction d'épaisseur mettra en œuvre une oxydation sacrificielle.

On pourra ainsi par exemple traiter des lots entiers de couches, dans  
10 des fours à tube horizontaux ou verticaux (dans ce dernier cas on parlera également de « cloches »).

De tels fours de recuit sont connus dans l'état de la technique. Ils permettent de traiter thermiquement des lots entiers de couches. Les couches sont alignées les unes à la suite des autres par exemple dans des nacelles en  
15 quartz munies d'encoches parallèles pour recevoir les couches.

Et il est possible d'ajuster les caractéristiques du traitement thermique appliqué par le four, pour appliquer à la surface de chaque couche du lot une correction d'épaisseur sélective selon les régions de la couche.

Pour ce faire, on pourra jouer en particulier sur la composition du  
20 mélange gazeux à l'intérieur du four, et plus précisément sur la composition du mélange gazeux circulant dans les différentes parties du four.

Il est en effet possible de prévoir que dans certaines régions du four le mélange soit plus ou moins oxydant. Ceci peut être obtenu par une circulation locale d'un mélange gazeux spécifique.

25 Ainsi, dans le cas où on veut traiter toutes les plaques d'un lot de la même manière,, toutes les dispositions visant à produire localement des conditions particulières à l'intérieur du four s'appliqueront de la même manière à toutes les couches du lot.

On pourra également jouer sur la présence de zones chaudes à  
30 l'intérieur du four.



Et ici encore, la présence de ces zones chaudes peut être définie pour avoir la même influence sur toutes les couches du lot.

On pourra par exemple de la sorte prévoir que l'oxydation sacrificielle attaque davantage les couches dans leur région périphérique que dans leur  
5 région centrale, ce qui correspond à une recette convexe.

Il est possible de jouer sur les flux de gaz dans le four, pour obtenir de telles zones chaudes.

Et il est également possible de gérer les inhomogénéités de chaleur dans le four, de manière contrôlée, pour différencier au contraire le traitement  
10 thermique appliqué aux différentes couches d'un lot.

## REVENDECATIONS

1. Procédé d'élaboration de couche mince (201) de matériau semi-  
5 conducteur comprenant une étape (1050') de correction d'épaisseur de couche, ladite étape de correction d'épaisseur de couche (201) comportant elle-même les opérations suivantes :

- acquisition (1051') de profil (60) de mesure d'épaisseur de couche,
- déduction (1052') de spécifications (40) de correction d'épaisseur à partir  
10 du profil (60) de mesure d'épaisseur,
- correction (1053') d'épaisseur de couche selon lesdites spécifications, caractérisé en ce que la correction (1053') d'épaisseur met en œuvre une oxydation sacrificielle.

15 2. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des spécifications (40) de correction d'épaisseur correspondent à une correction (1053') d'épaisseur uniforme sur la surface de la couche (201) à élaborer.

20 3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des spécifications (40) de correction d'épaisseur correspondent à une correction (1053') d'épaisseur différenciée sur la surface de la couche (201) à élaborer.

25 4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que des spécifications (40) de correction d'épaisseur correspondent à une correction (1053') d'épaisseur uniforme sur la surface de la couche à élaborer, combinée à une correction (1053') d'épaisseur différenciée sur la surface de la couche (201) à élaborer.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les spécifications (40) de correction d'épaisseur sont établies de manière à produire une couche (201) dont l'épaisseur est la plus constante possible sur toute la couche (201).

5

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lors de la correction d'épaisseur on traite simultanément la surface de la couche.

10 7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'élaboration des couches se fait par lots de couches.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la correction d'épaisseur des couches se fait par lots de couches

15

9. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que les couches d'un lot sont organisées en une succession de couches, et on mesure (1051') l'épaisseur d'une couche du lot pendant qu'on corrige (1053') l'épaisseur de la couche précédente du même lot.

20

10. Procédé selon la revendication 7 ou 8, caractérisé en ce qu'on définit pour toutes les couches du lot un profil (30) unique d'épaisseur cible et les spécifications (40) respectives de correction d'épaisseur de chaque couche du lot sont individualisées de manière à ce que chaque couche du lot ait, une fois la correction d'épaisseur effectuée, un profil d'épaisseur final de couche proche du profil (30) d'épaisseur cible.

25

11. Procédé selon l'une des revendications 7 à 9, caractérisé en ce qu'on définit pour toutes les couches du lot un profil unique d'épaisseur cible, et les spécifications de correction d'épaisseur de toutes les couches du lot sont les

30



mêmes, en fonction d'au moins une mesure d'épaisseur effectuée sur une couche du lot.

5       **12.** Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le profil (30) d'épaisseur cible consiste en une valeur cible, cette valeur cible désignant une épaisseur cible unique à atteindre sur toute la surface de chacune des couches du lot.

10       **13.** Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'opération (1051') d'acquisition de mesure se fait par un ellipsomètre.

**14.** Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que l'opération (1051') d'acquisition de mesure se fait par un réflectomètre.

15       **15.** Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'oxydation sacrificielle est mise en œuvre par une technique d'oxydation thermique.

20       **16.** Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que l'oxydation sacrificielle est mise en œuvre par une technique d'oxydation thermique rapide.

25       **17.** Procédé selon d'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que lors de l'oxydation sacrificielle on met en œuvre des moyens pour oxyder sélectivement les différents endroits de la couche.

30       **18.** Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que lors de l'oxydation sacrificielle on met en œuvre un dispositif comprenant une pluralité de lampes de chauffage, situées en regard de différents endroits de la couche et pouvant être alimentées sélectivement de manière à ajuster localement la température d'oxydation de la couche.

19. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il met également en œuvre les étapes principales d'un procédé de type Smart-Cut®.

5

20. Application d'un procédé selon l'une des revendications précédentes, pour la fabrication d'une couche de matériau semi-conducteur d'une structure multicouche.

10

21. Application selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ladite couche est en silicium.

22. Application selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisée en ce que la structure multicouche est un SOI.

15

23. Machine de mise en œuvre d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 19, caractérisée en ce que la machine comprend un moyen d'acquisition de mesure de profil d'épaisseur de couche, un moyen de correction d'épaisseur de couche par oxydation sacrificielle.

20

24. Machine selon la revendication précédente, caractérisée en ce que la machine comprend également une unité de traitement reliée aux moyens d'acquisition de mesure et aux moyens de correction d'épaisseur.

25

25. Machine selon la revendication précédente, caractérisée en ce que lesdits moyens d'acquisition de mesure de profil d'épaisseur, lesdits moyens de correction d'épaisseur et ladite unité de traitement sont intégrés à la machine.

30

26. Machine selon l'une des trois revendications précédentes, caractérisée en ce que le moyen d'acquisition de mesure d'épaisseur met en œuvre un réflectomètre.

**27.** Machine selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le moyen d'acquisition de mesure d'épaisseur est de type ACUMAP™.

5      **28.** Machine selon l'une des cinq revendications précédentes, caractérisée en ce que le moyen de correction d'épaisseur est apte à traiter simultanément l'épaisseur d'au moins une couche, de manière sélective.

10      **29.** Machine selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le moyen de correction d'épaisseur est adapté pour corriger l'épaisseur d'une seule couche à la fois.

15      **30.** Machine selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le moyen de correction d'épaisseur est de type RTP XE Centura™.

20      **31.** Machine selon la revendication 28, caractérisée en ce que le moyen de correction d'épaisseur permet de corriger l'épaisseur de lots entiers de couches.

25      **32.** Machine selon la revendication précédente, caractérisée en ce que le moyen de correction d'épaisseur est un four à tube.

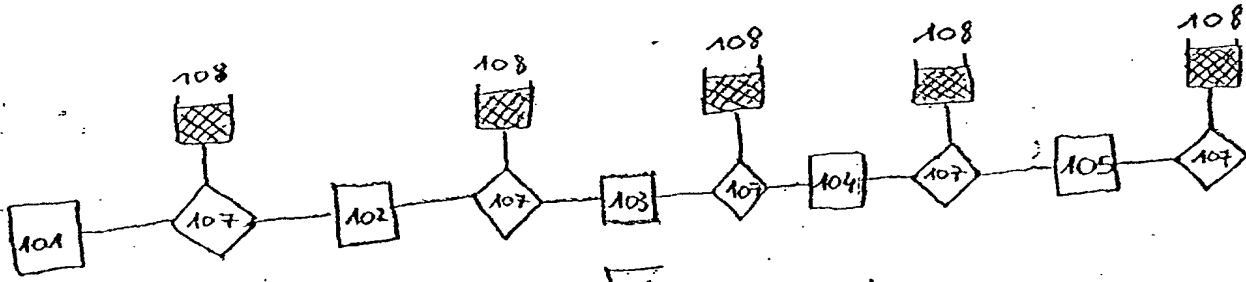


Figure 1:

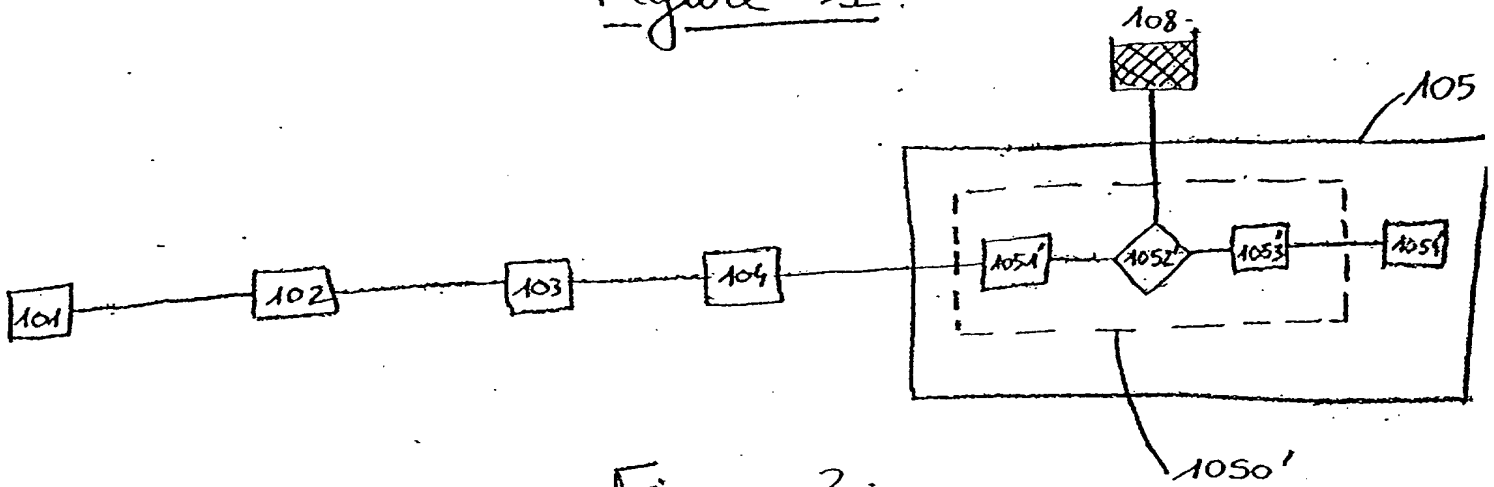


Figure 2:

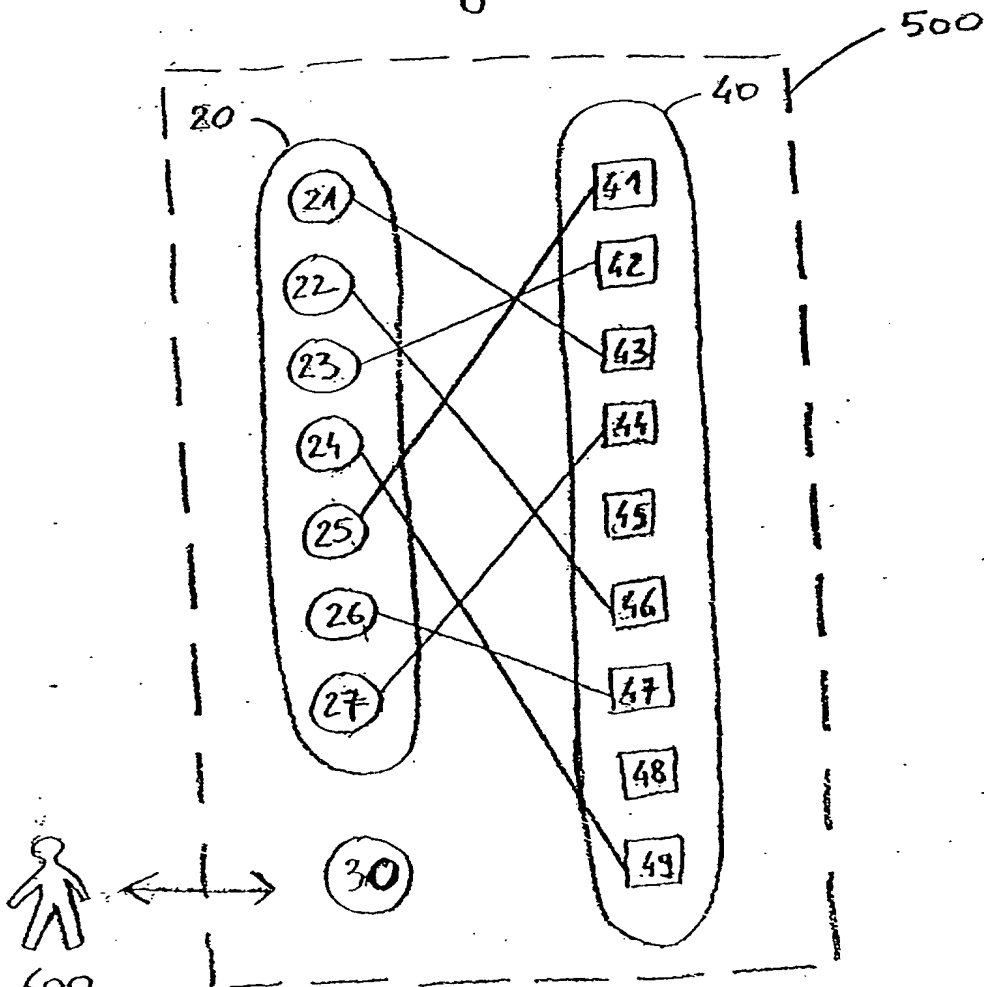


Figure 3:

1 / 7

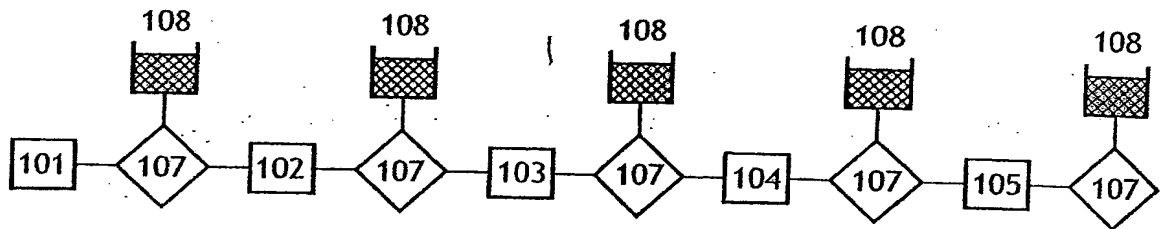


FIG. 1

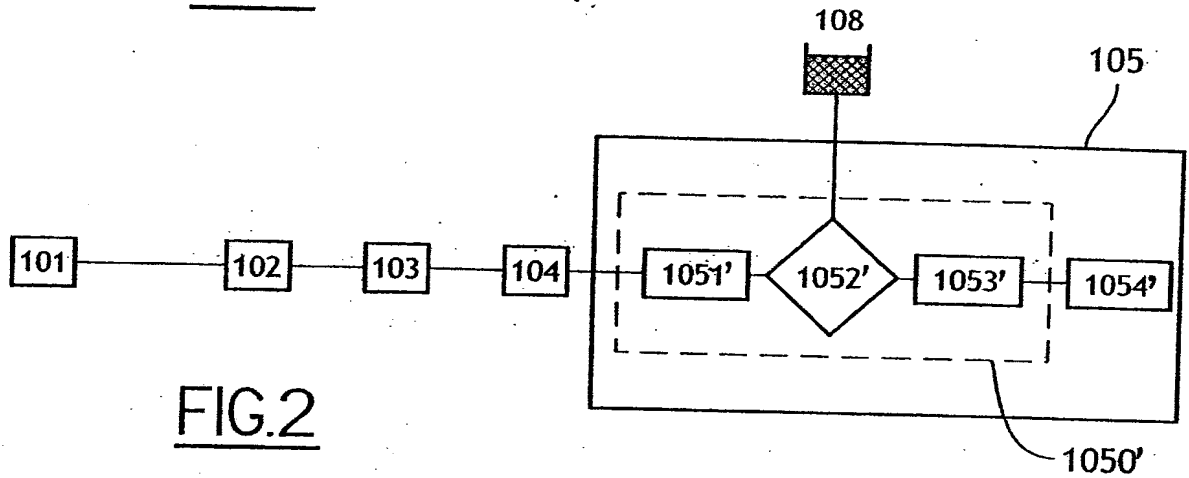


FIG. 2

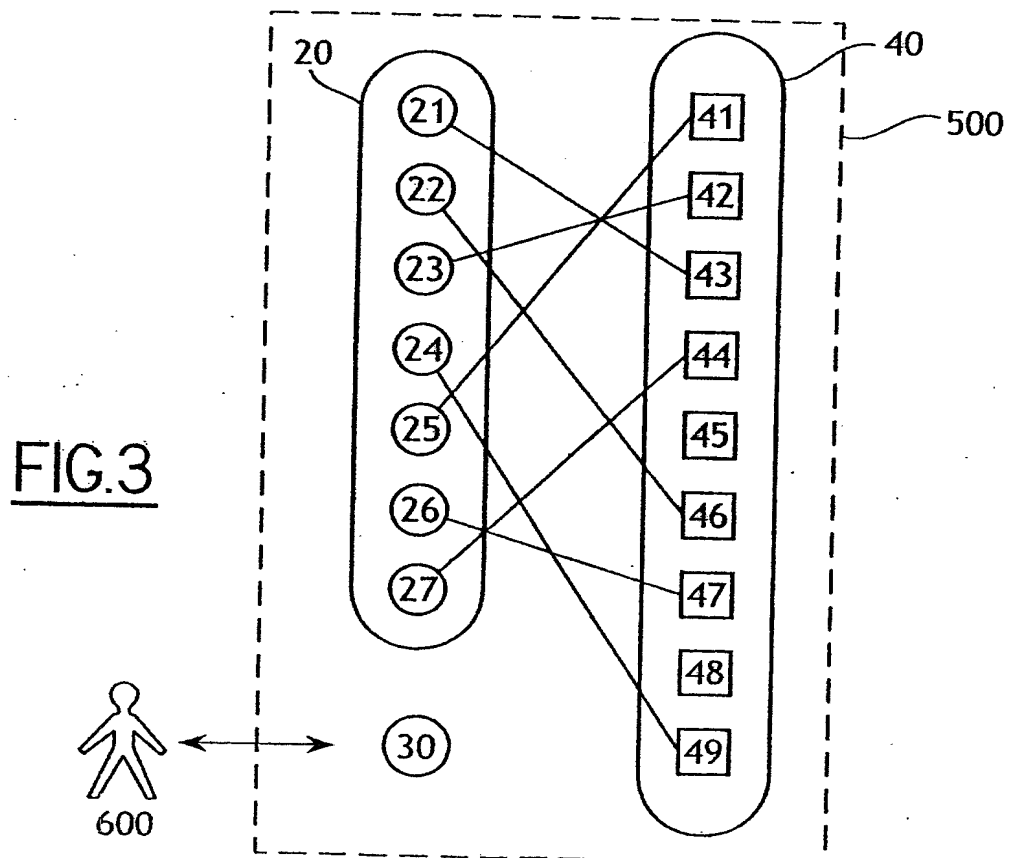


FIG. 3



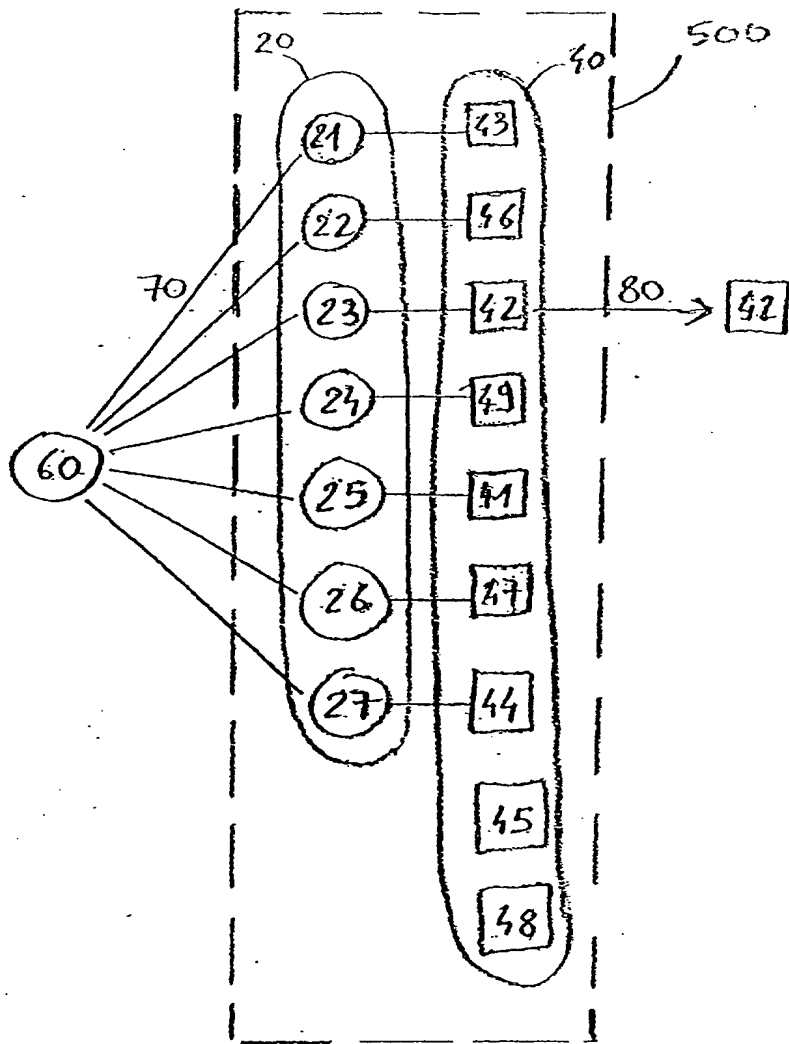


Figure 4 :

2/7

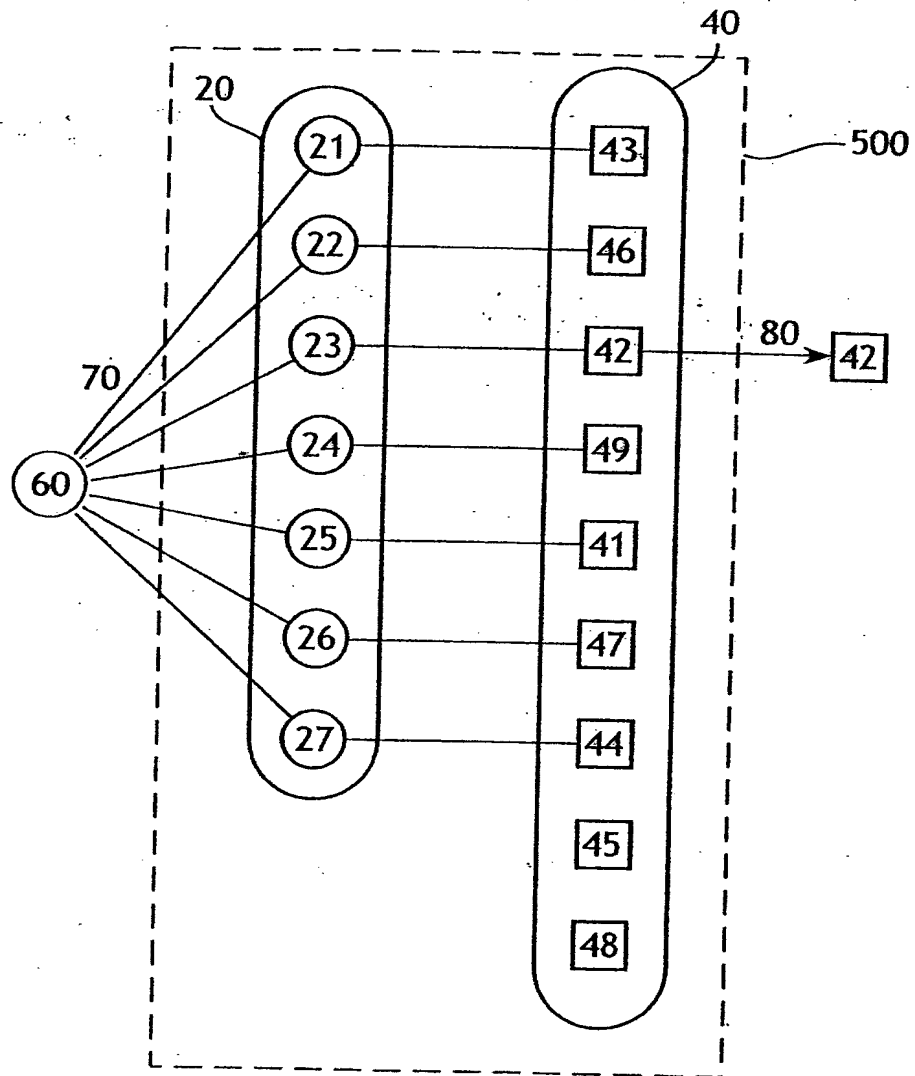


FIG.4

Figure 5

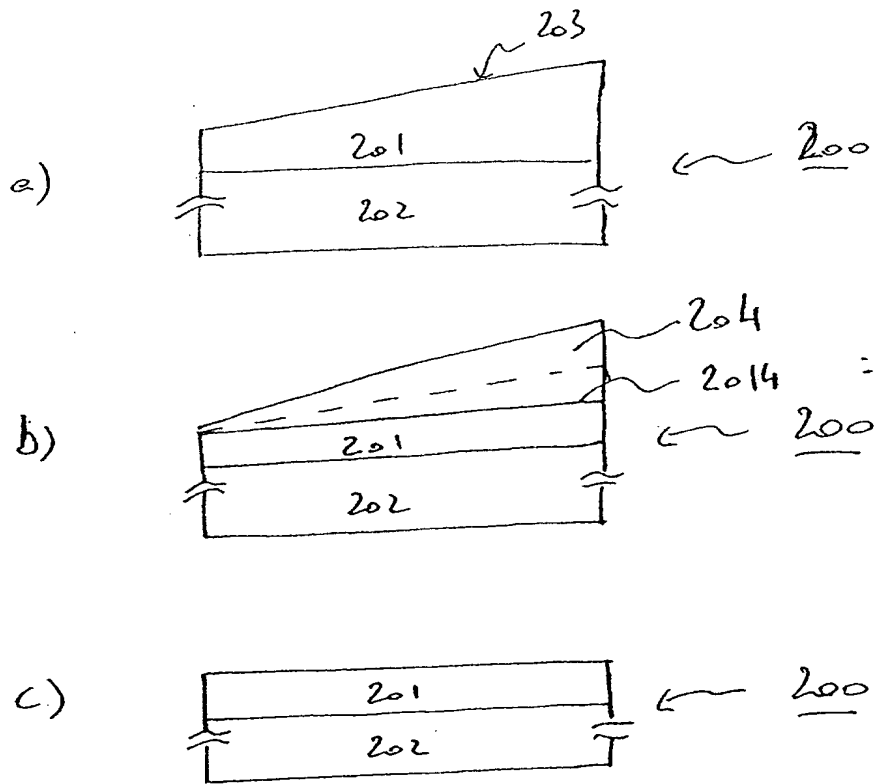
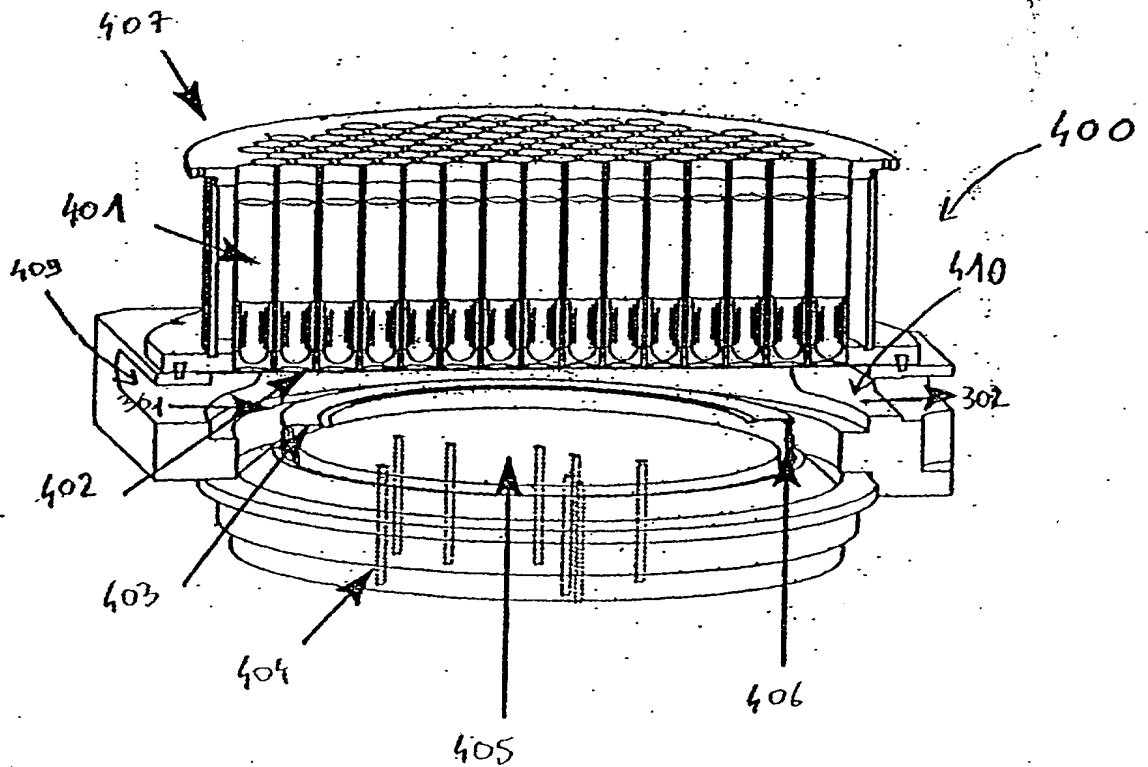


Figure 6



3/7

FIG.5

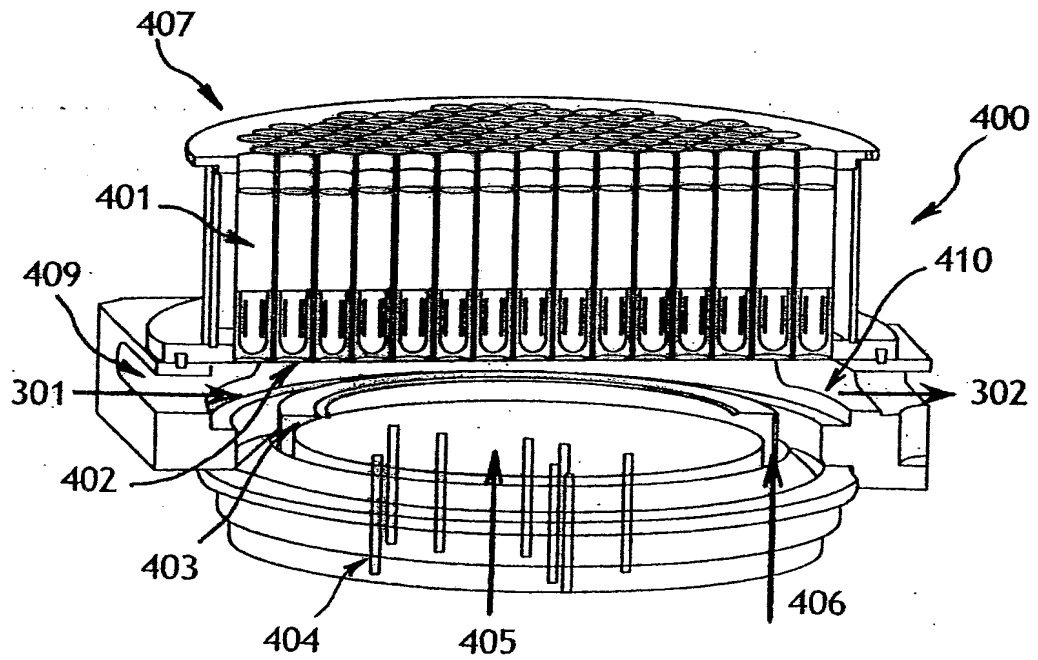
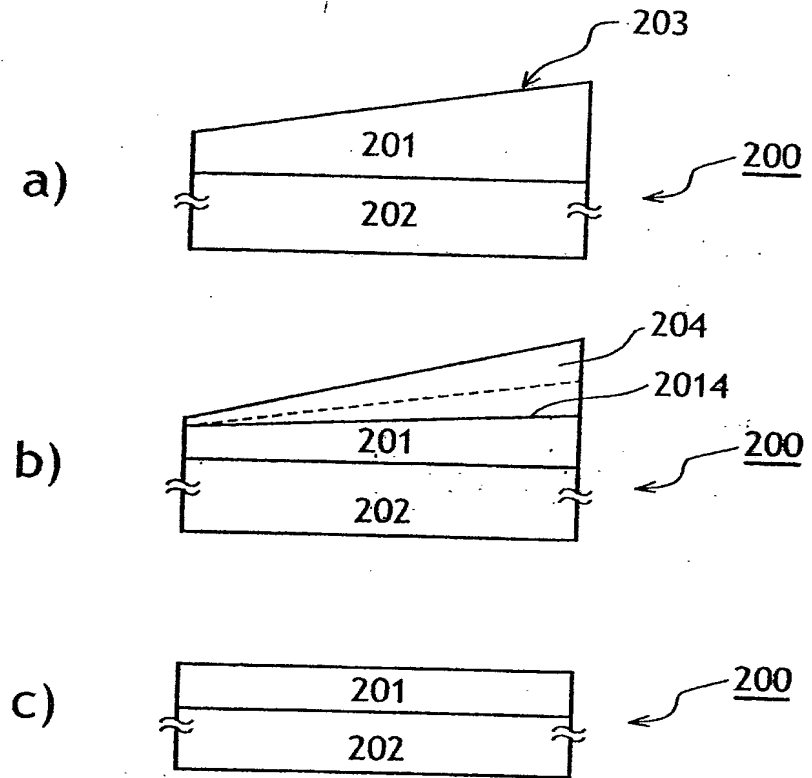


FIG.6

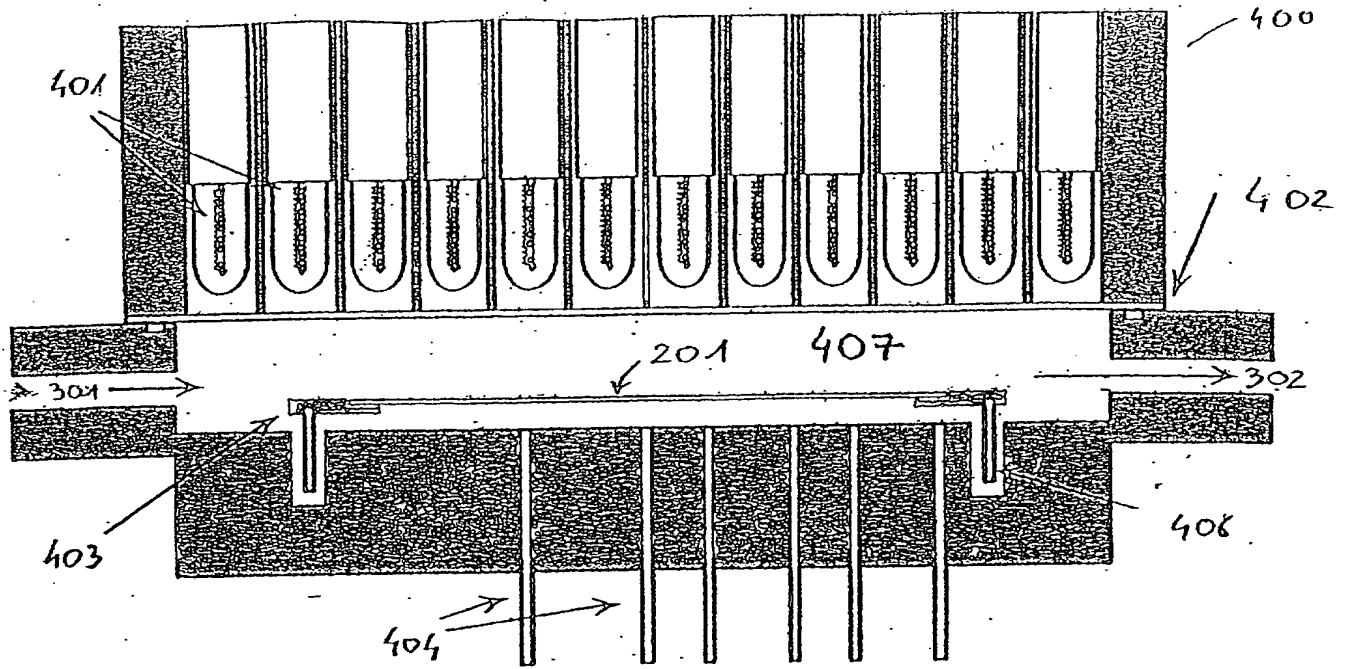


figure 7:

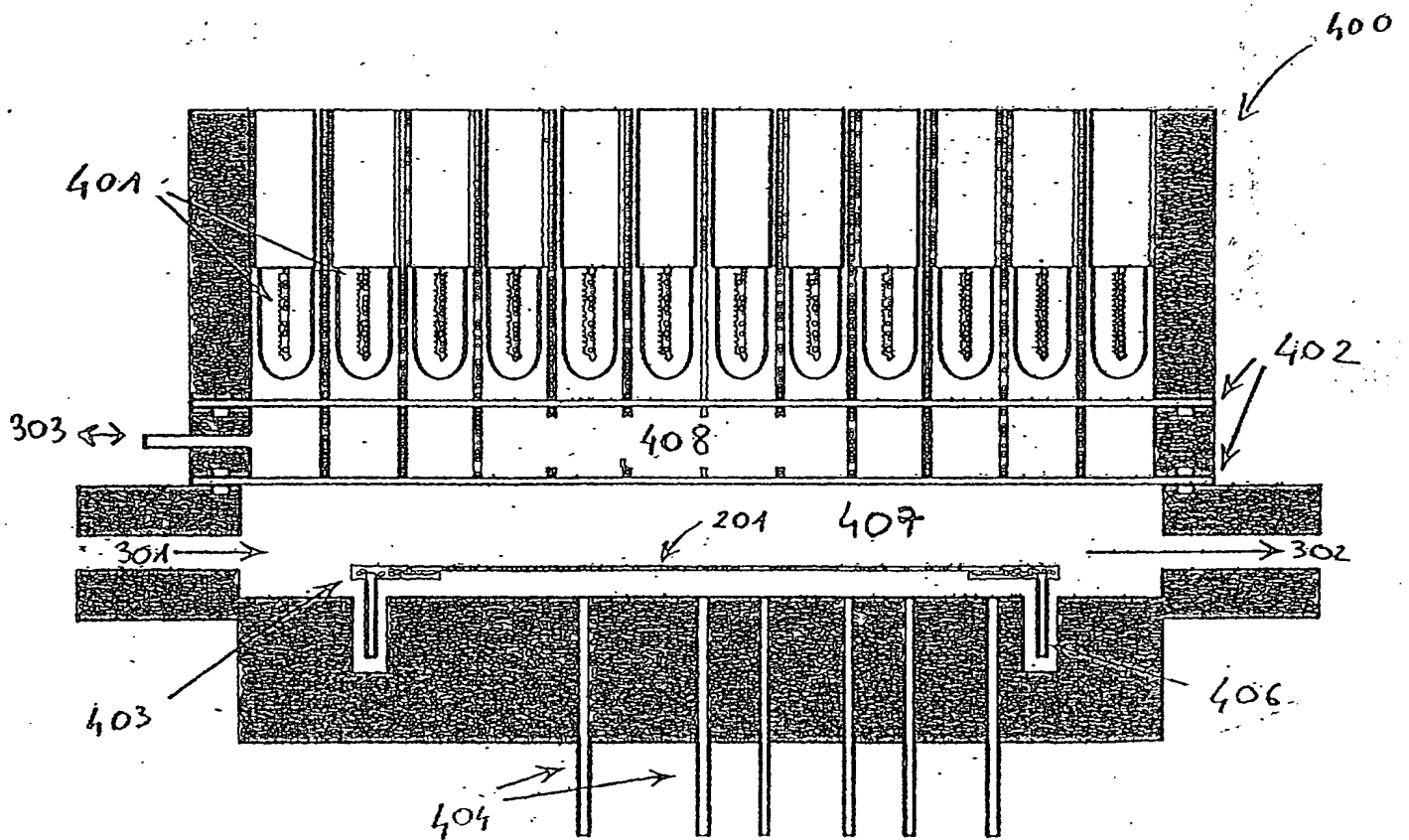


Figure 8

4 / 7

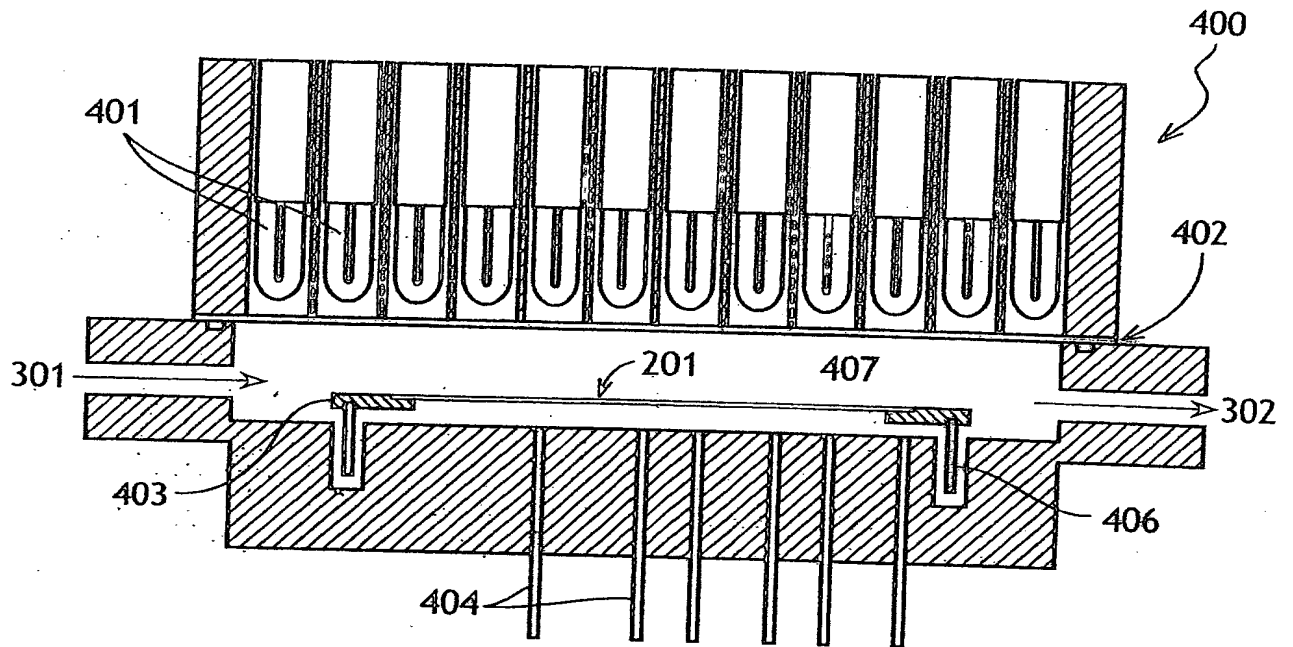


FIG. 7

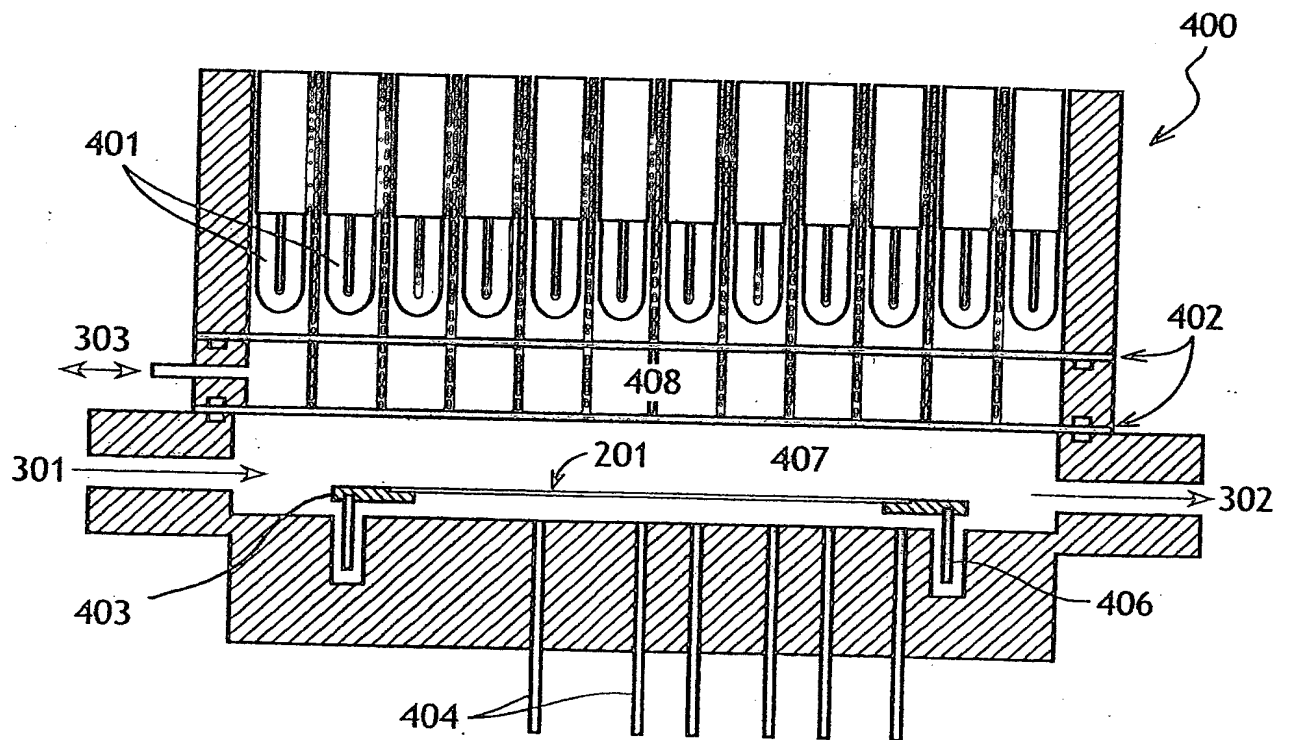


FIG. 8

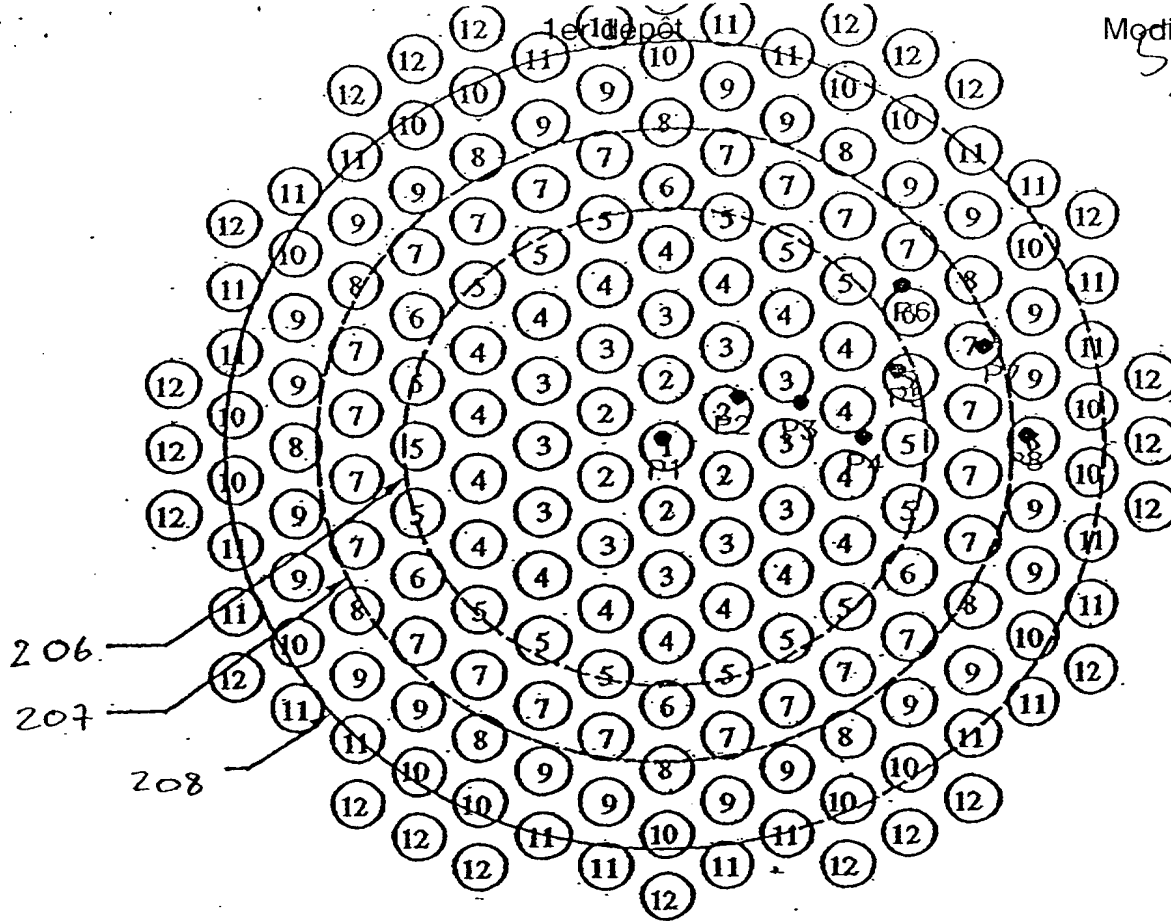


Figure 9

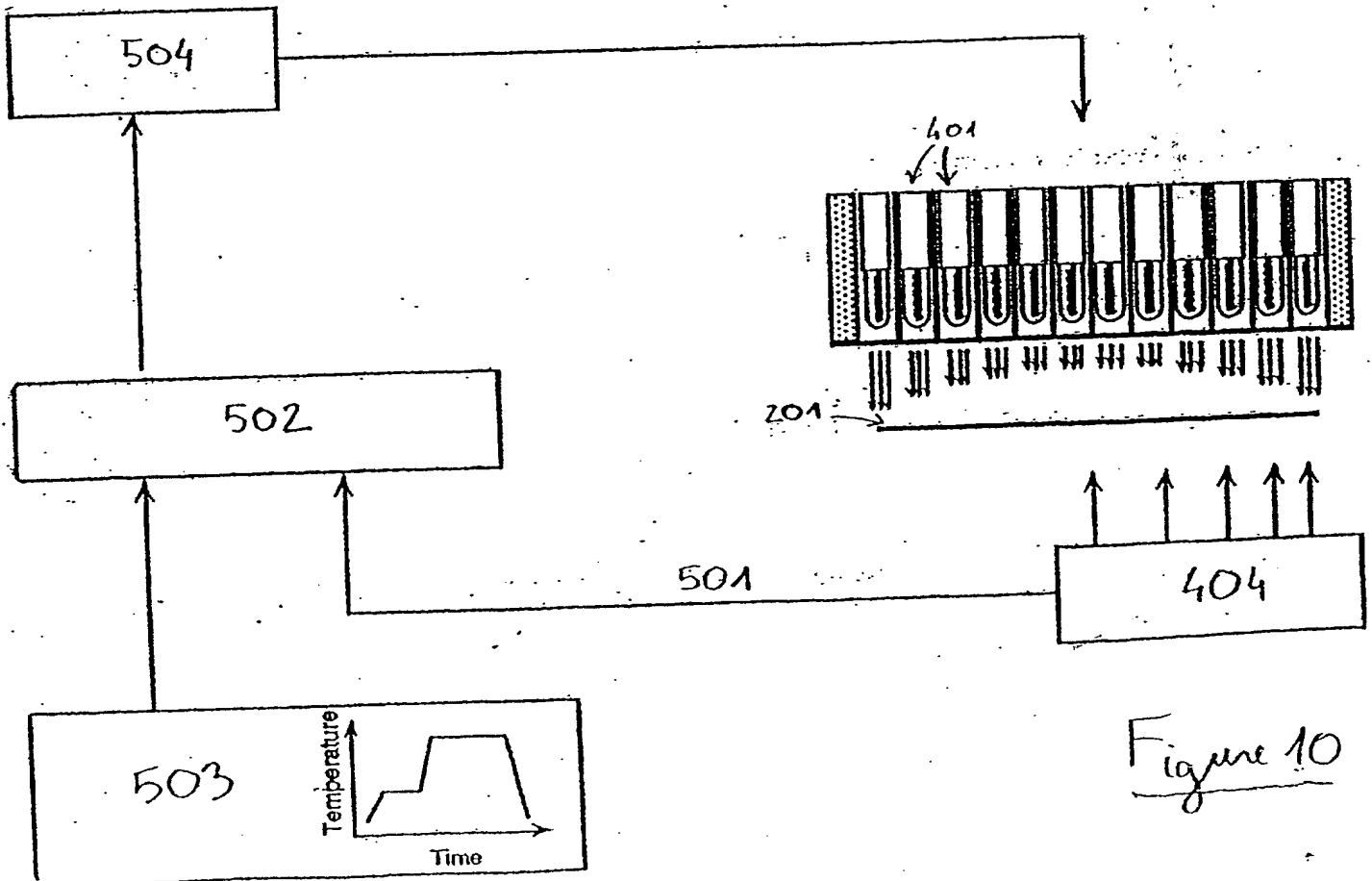
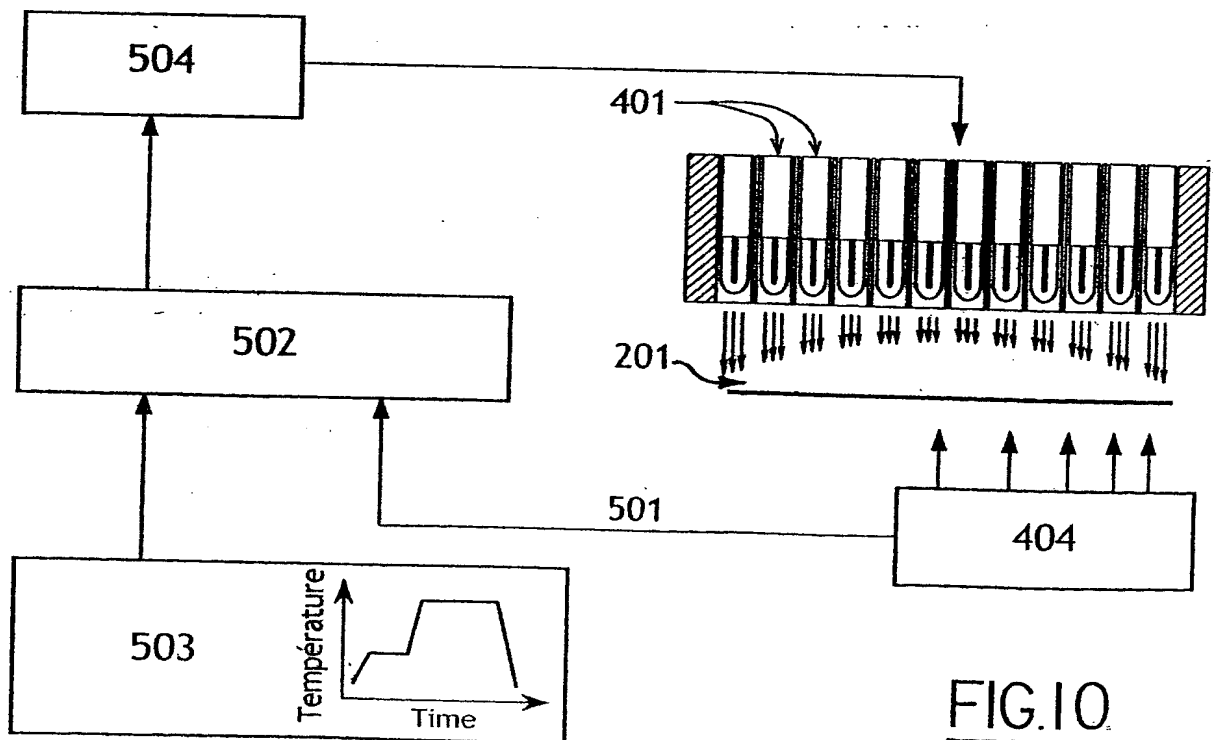
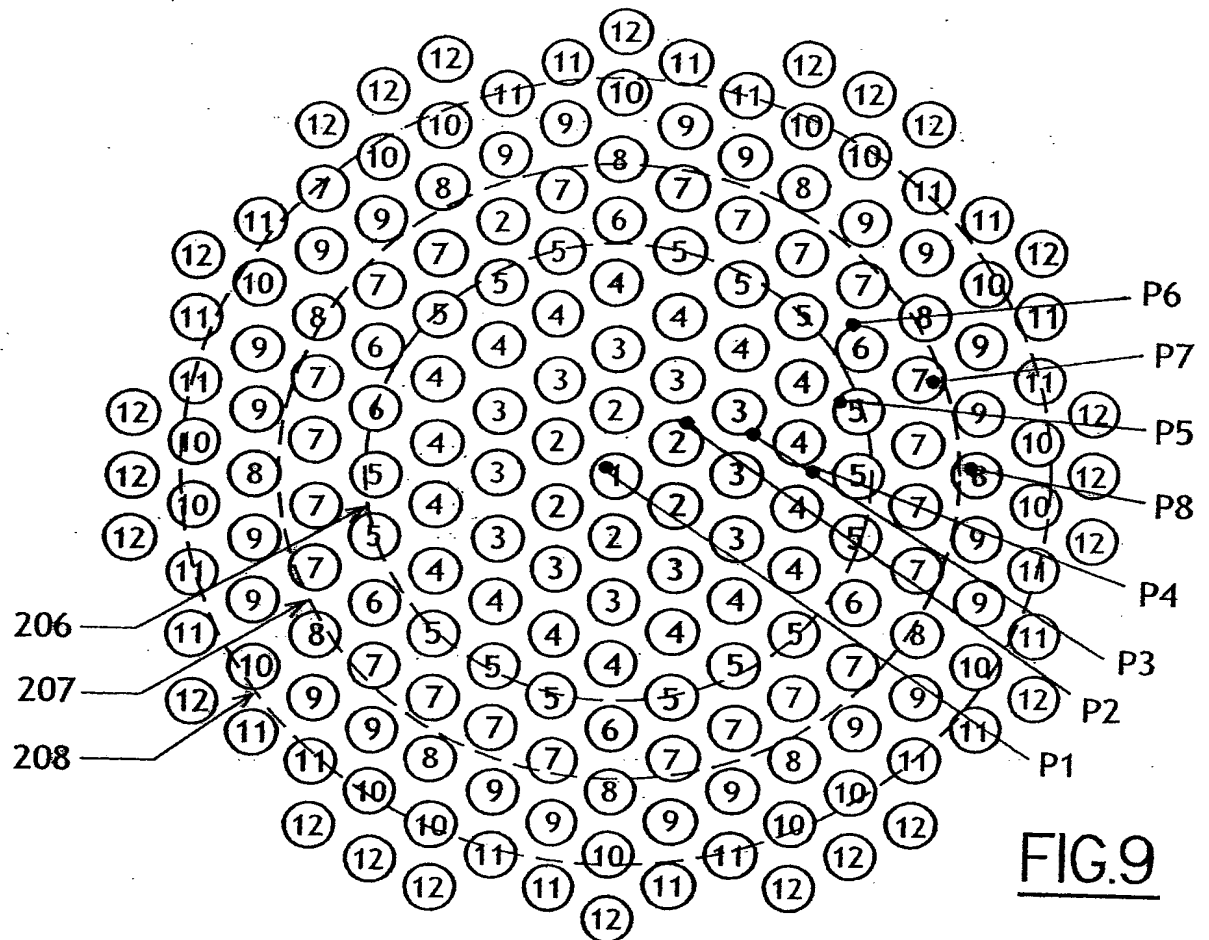


Figure 10

5/7





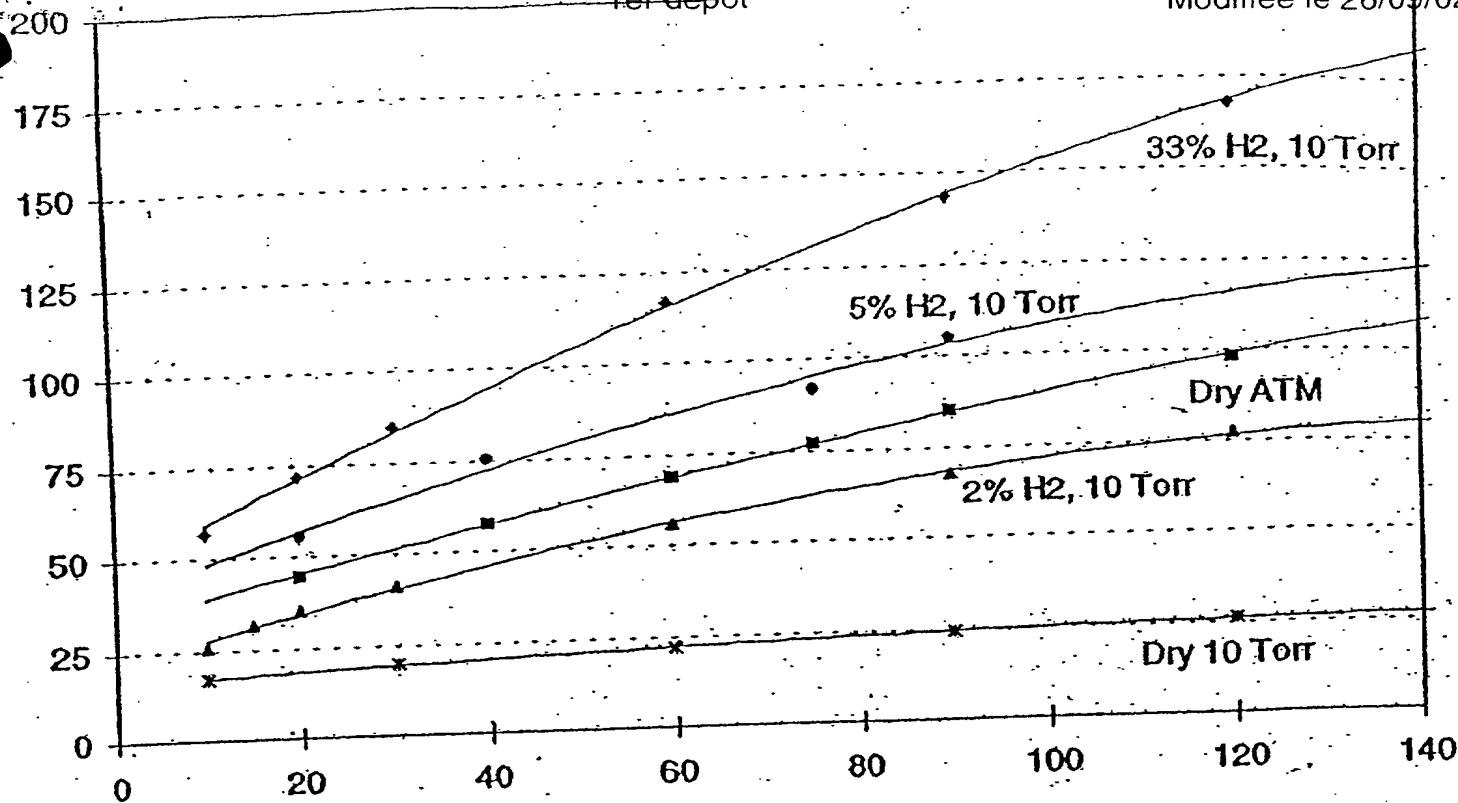


Figure 11.

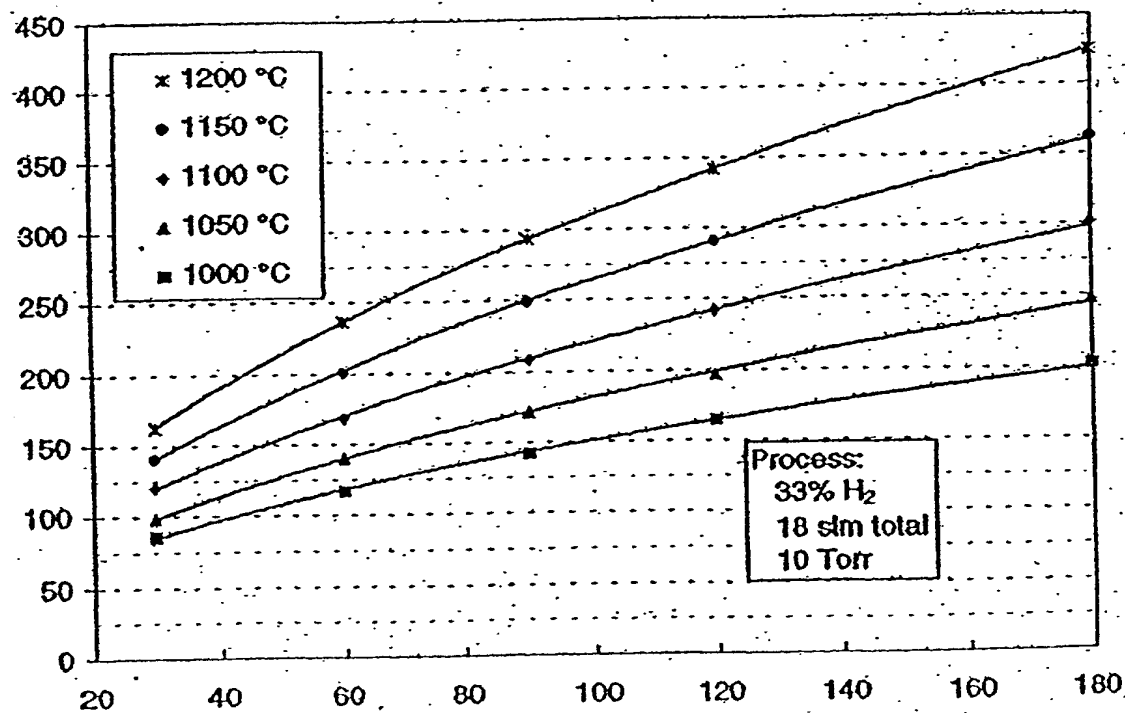


Figure 12.

6/7

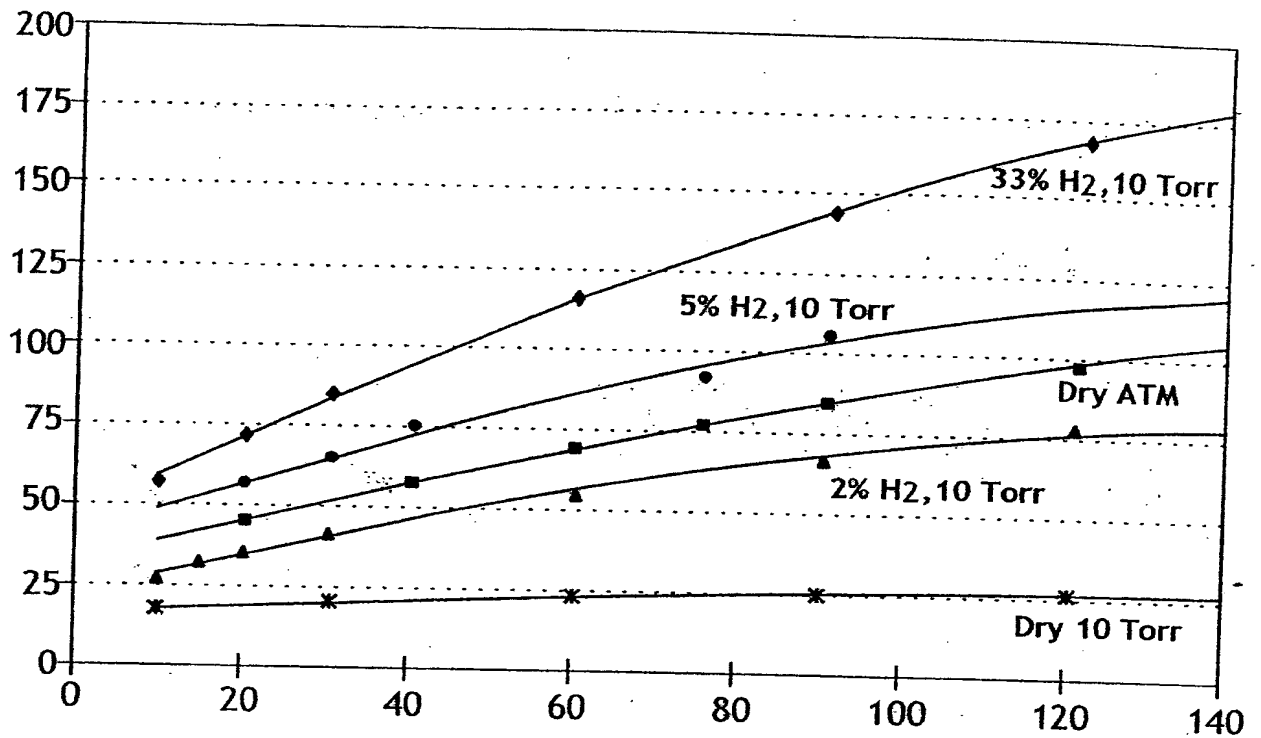


FIG.11

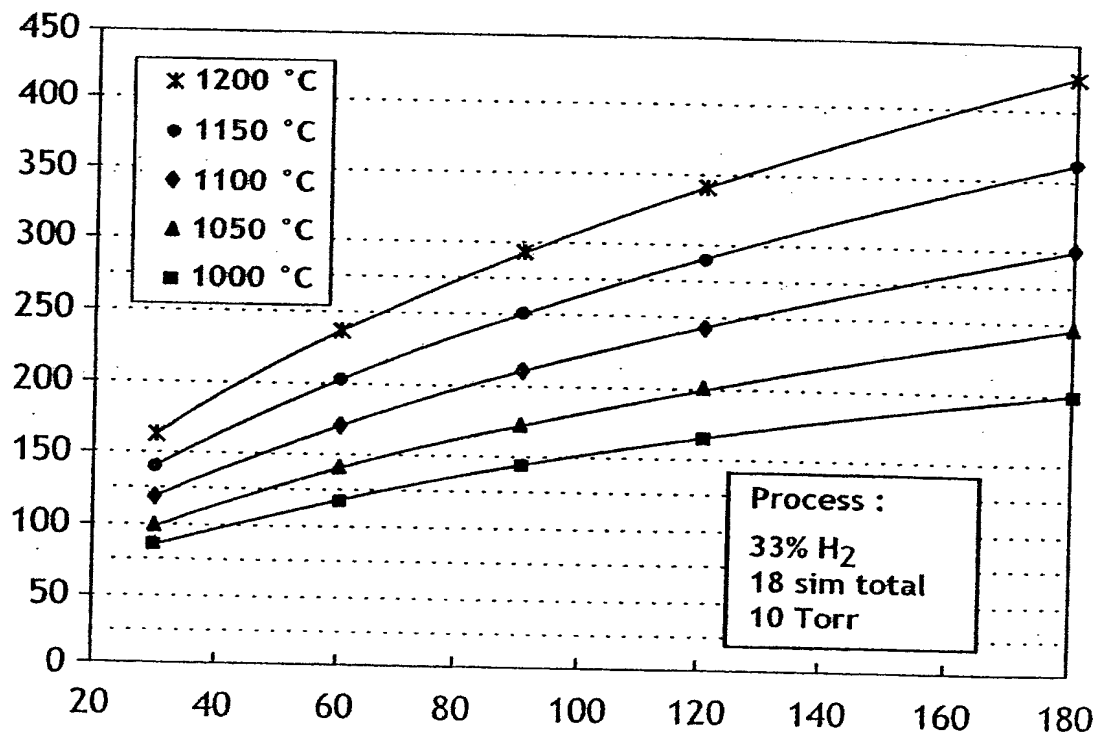


FIG.12

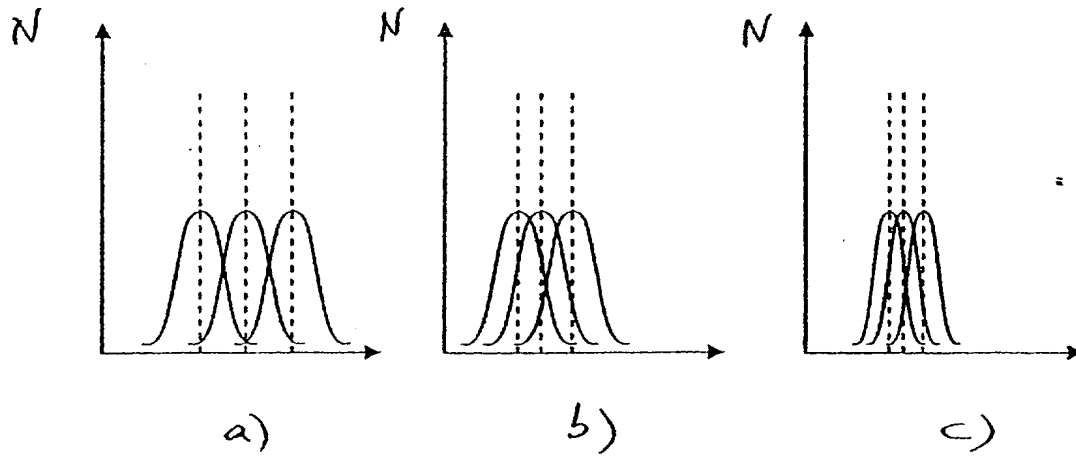


Figure 13

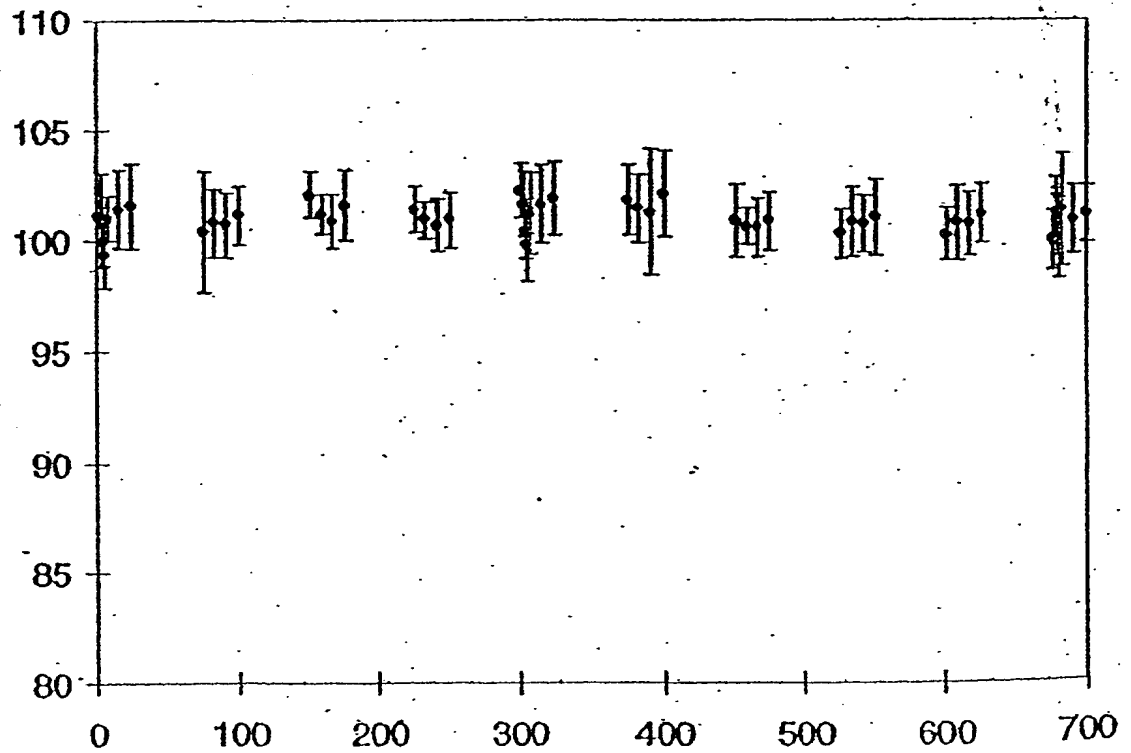


Figure 14:

7/7

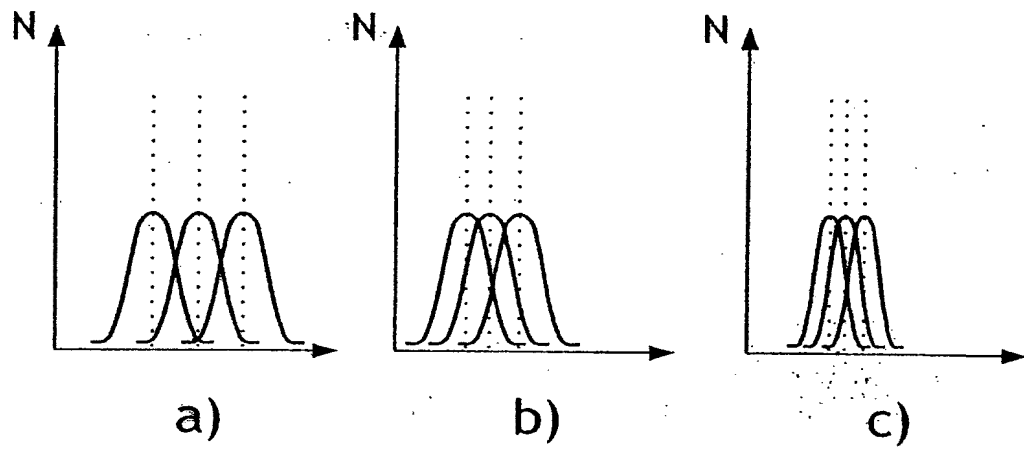


FIG.13

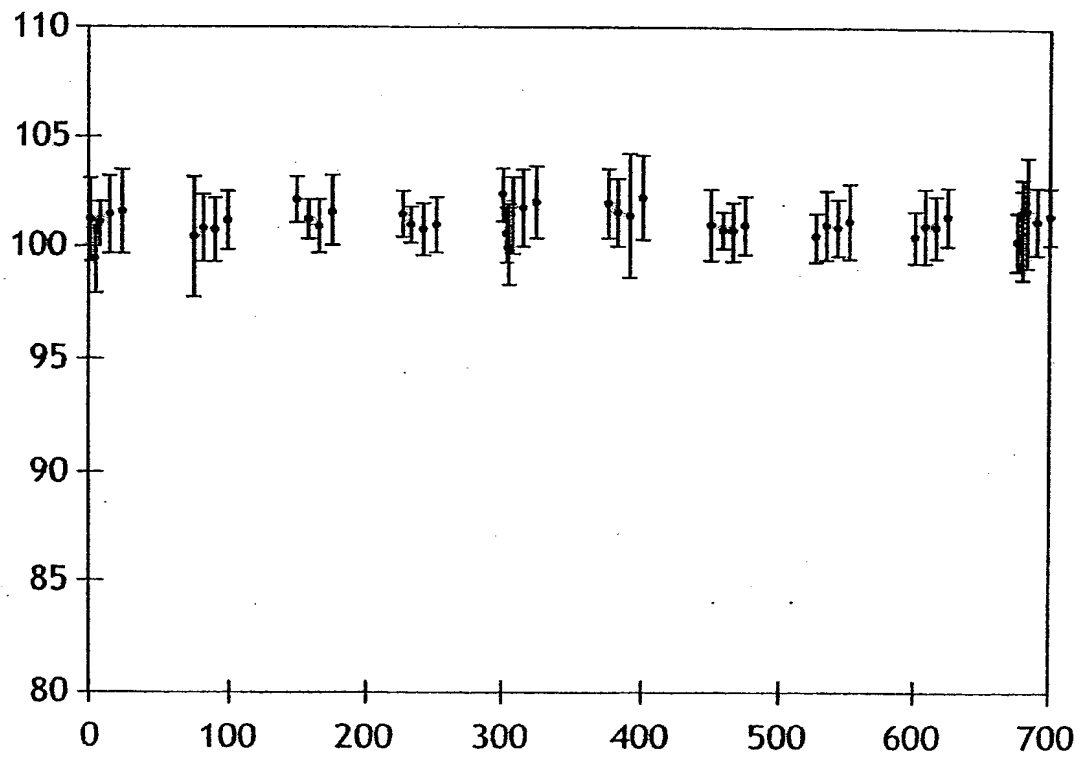


FIG.14

**BREVET D'INVENTION****CERTIFICAT D'UTILITÉ**

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



## DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

**DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S)** Page N° 1.../1.

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b>		239571 JC	
<b>N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL</b>		0210209	
<b>TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>			
PROCÉDE D'ELABORATION DE COUCHE MINCE COMPRENANT UNE ÉTAPE DE CORRECTION D'ÉPAISSEUR PAR OXYDATION SACRIFICIELLE, ET MACHINE ASSOCIÉE.			
<b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>			
S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES : Parc Technologique des Fontaines - Chemin des Franques, 38190 BERNIN - FRANCE			
<b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b>			
<b>1</b> Nom			
Prénoms		GHYSELEN Bruno	
Adresse	Rue	58, rue Georges Maeder 38170	
	Code postal et ville	SEYSSINET-PARISSET	
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>2</b> Nom			
Prénoms		AULNETTE Cécile	
Adresse	Rue	3, Place des Tilleuls 38000 GRENOBLE	
	Code postal et ville	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ]	
Société d'appartenance (facultatif)			
<b>3</b> Nom			
Prénoms		OSTERNAUD Bénédite	
Adresse	Rue	26, rue Lieutenant Fiancey 38120 SAINT EGREVE	
	Code postal et ville	[ ] [ ] [ ] [ ] [ ]	
Société d'appartenance (facultatif)			
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.			
<b>DATE ET SIGNATURE(S)</b> <b>DU (DES) DEMANDEUR(S)</b> <b>OU DU MANDATAIRE</b> <b>(Nom et qualité du signataire)</b>			

